



Universidade de Aveiro

C/ Currículo  
2018

**“Avaliação da Vulnerabilidade e do Risco de Cheia Urbana na Cidade de Aveiro”**

**Pedro Miguel Tavares de Lima**

Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Civil, apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, sob orientação de Professor Doutor Carlos Coelho.



**PEDRO MIGUEL  
TAVARES DE LIMA**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO  
DE CHEIA URBANA NA CIDADE DE AVEIRO**





**PEDRO MIGUEL  
TAVARES DE LIMA**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO  
DE CHEIA URBANA NA CIDADE DE AVEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Daniel Borges Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo  
professor auxiliar na Universidade de Aveiro

Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira  
investigador de pós-doutoramento na Universidade do Minho

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho  
professor auxiliar na Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Quero agradecer ao meu Professor e Orientador Carlos Coelho pela inesgotável paciência.





## **palavras-chave**

Precipitação, mapas de cheias, caudais de ponta, inundações, período de retorno.

## **resumo**

A Directiva 2007/60/CE de 27 de Outubro obrigou os Estados-Membros da União Europeia a elaborar e apresentar cartas de zonas inundáveis e de riscos de inundação até Dezembro de 2013, de forma a promover uma melhor gestão da ocorrência de fenómenos cheia, nomeadamente em áreas urbanas, tentando assim criar soluções e medidas que minimizem o impacto e as consequências da sua ocorrência, quer ao nível de danos materiais, mas sobretudo de vidas humanas.

O objectivo deste trabalho é tentar perceber de que modo é feita a avaliação da vulnerabilidade e risco de cheia urbana na cidade de Aveiro. Aveiro é uma região bastante particular, que reúne vários tipos de água (doce e salgada) e morfologias, possuindo uma zona costeira e uma zona lagunar, bem como a elevada influência do Rio Vouga e seus afluentes. A conjugação destas características complexifica a análise do comportamento da região de Aveiro.

Procedeu-se ao levantamento dos factores com maior influência na avaliação da vulnerabilidade e risco de cheias urbanas, recorrendo à análise de 5 métodos distintos. A ocupação do solo, a densidade populacional, a precipitação e os caudais de ponta foram os parâmetros transversais presentes em mais métodos, atribuindo-se-lhes por isso importância acrescida na avaliação dos fenómenos de cheias urbanas. Foi realizado o levantamento histórico (temporal e espacial) das cheias mais relevantes que surgiram na cidade de Aveiro, sobretudo durante o século XX, tentando-se determinar a sua origem ou principal causa (Ria de Aveiro, marés, pluviosidade). A instalação do sistema de eclusas e comportas em 1985 teve uma influência significativa no controlo do nível da água da Ria de Aveiro, tendo sido encontrados menos eventos de cheias qualificadas de grande dimensão após esse marco histórico.

A caracterização pluviométrica e hidrográfica do local permitiu estimar a grandeza dos caudais de ponta dessa região urbana, que foi, para várias entidades e projectos, o factor mais relevante para a modelação dos seus mapas das zonas inundáveis. Percebeu-se ainda que a zona baixa da cidade é uma área mais vulnerável, não só pela sua proximidade à Ria de Aveiro e baixa topografia, mas também devido à elevada concentração de pessoas e infra-estruturas, como o património cultural que nesta região se encontra.



**keywords**

Precipitation, flood maps, peak flows, floods; return period

**abstract**

The Directive 2007/60/EC, 27<sup>th</sup> October, demanded European Union Member States to elaborate and present flood areas and flood risk maps till December 2013, in order to promote a better management of the flood phenomena, particularly in urban areas, trying to create solutions and measures to minimize the impact and consequences of their occurrence, both in terms of material damage and, above all, in human lives.

The objective of this work is to try to understand how the vulnerability and risk of urban flood in the city of Aveiro is evaluated. Aveiro is a very particular region, which gathers several types of water (fresh and salty) and morphologies, possessing a coastal zone and a lagoon zone, as well as the high influence of the Vouga River and its affluent. The combination of these characteristics complicates the analysis of the behavior of the Aveiro region.

The factors with greater influence in the evaluation of vulnerability and risk of urban floods were determined and analyzed, using 5 different methods. Soil occupation, population density, precipitation, and peak flow were the transversal parameters present in most methods, and thus, given a greater importance in the assessment of urban flood phenomena. A historical (temporal and spatial) survey of the most relevant floods that occurred in the city of Aveiro, especially during the 20<sup>th</sup> century, was performed, to try determining its origin or main cause (Ria de Aveiro, tides, rainfall). The construction of the system of locks and floodgates, in 1985, had a significant influence on the control of the water level of the Ria de Aveiro, and fewer major flood events were found after this historical mark.

The pluviometry and hydrographic characterization of the local allowed the estimation of the magnitude of the peak flows of this urban region, which was, for several entities and projects, the most relevant factor for the modeling of its flood maps. It was also noticed that the lowest topographic level area of the city is more vulnerable, not only for its proximity to the Ria de Aveiro and low topography, but also due to the high concentration of people and infrastructures, like the cultural patrimony that is found in this region.





## ÍNDICES

---





# Índice geral

Índice geral .....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tabelas.....	ix
<b>Capítulo 1 - Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1    Enquadramento.....	1
1.2    Objetivos .....	3
1.3    Estrutura da dissertação.....	3
<b>Capítulo 2 - Riscos de inundação.....</b>	<b>5</b>
2.1    Identificação de alguns métodos de avaliação do risco.....	5
2.1.1    APFM (2008) .....	5
2.1.2    Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagah (2013).....	7
2.1.3    Ouma e Tateishi (2014) .....	9
2.1.4    ANR (2014) .....	10
2.1.5    ADAPTARia.....	12
2.2    Identificação de parâmetros a utilizar .....	13
2.3    Alterações climáticas.....	15
<b>Capítulo 3 - Zona de Estudo .....</b>	<b>17</b>
3.1    Cheias costeiras e cheias urbanas .....	18
3.2    Caudais afluentes à Ria de Aveiro .....	19
3.2.1    Caracterização da área de estudo .....	19

3.2.2	Caudais de referência (massa de água doce).....	21
3.2.3	Caudais de referência (massa de água salgada) .....	22
3.3	Historial temporal e espacial de cheias na Ria de Aveiro .....	23
3.4	Descrição das principais cheias .....	26
3.4.1	Antes do século XX .....	26
3.4.2	Século XX.....	27
<b>Capítulo 4 - Caracterização Pluviométrica .....</b>		<b>35</b>
4.1	Postos Udométricos.....	35
4.2	Precipitação diária .....	36
4.3	Precipitação Mensal .....	37
4.4	Precipitação anual .....	38
4.5	Relação entre precipitação e cheias.....	40
<b>Capítulo 5 - Caracterização Hidrográfica .....</b>		<b>41</b>
5.1	Bacia Hidrográfica .....	41
5.2	Características Geométricas .....	42
5.3	Características do Sistema de Drenagem .....	44
5.4	Características do Relevo .....	45
5.5	Características Geológicas .....	48
5.6	Ocupação e Uso do Solo .....	50
5.7	Tempo de Concentração.....	51
5.8	Curvas de intensidade-duração-frequência .....	54

5.9	Caudais .....	55
5.9.1	Resumo dos caudais de ponta .....	58
<b>Capítulo 6 - Mapas actuais e critérios para a sua definição .....</b>		<b>61</b>
6.1	SNIRH / Agência do Ambiente.....	61
6.2	ADAPTARia .....	66
6.2.1	Caudais fluviais e elevação do nível do mar.....	66
6.2.2	Cartas globais de vulnerabilidade [e risco] .....	67
6.3	SECUR-RIA e Câmara Municipal de Aveiro .....	70
<b>Capítulo 7 - Considerações Finais .....</b>		<b>73</b>
7.1	Conclusões .....	73
7.2	Desenvolvimentos futuros.....	74
<b>Referências bibliográficas .....</b>		<b>77</b>

## Índice de figuras

Figura 1.1 – Vista aérea da cidade e da Ria de Aveiro (Google Earth, 2018).....	2
Figura 2.1 - Mapa de risco obtido usando a metodologia de avaliação de risco adoptada em APFM (2008).....	7
Figura 3.1 - Distribuição temporal das principais cheias na cidade de Aveiro, no século XX.....	23
Figura 3.2 - Eclusa e comportas no Canal das Pirâmides .....	24
Figura 3.3 - Outras estruturas de controlo do nível da água, situadas ao longo do Canal de São Roque .....	25
Figura 3.4 - Distribuição espacial das principais cheias na cidade de Aveiro .....	26
Figura 3.5 - Cheias de 1905 (Imagoteca).....	27
Figura 3.6 - Cheias de 1909 (Aveiro Antigo) .....	28
Figura 3.7 - Cheias de 1910 (Aveiro Antigo) .....	28
Figura 3.8 - Cheias de 1915 (Imagoteca).....	29
Figura 3.9 - Aspeto da cheia de 1937 na Rua João Mendonça .....	30
Figura 3.10 - Aspeto da cheia de 1955 (a) e da cheia de 1957 (b, c, d).....	31
Figura 3.11 - Aspeto da cheia de 1964 (a) e da cheia de 1966 (b, c, d).....	32
Figura 4.1 - Postos udométricos seleccionados na região das bacias hidrográficas em estudo .....	36
Figura 4.2 - Precipitação diária máxima anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009) .....	37
Figura 4.3 - Precipitação média mensal para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009).....	38

Figura 4.4 - Precipitação anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2007), Gafanha da Nazaré (1949-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009).....	39
Figura 5.1 - Bacia Hidrográfica A (Verde) e B (Vermelho) .....	42
Figura 5.2 - Secção a jusante da Bacia Hidrográfica B .....	42
Figura 5.3 - Linhas de água das bacias hidrográficas em estudo .....	45
Figura 5.4 - Frequências altimétricas da Bacia A .....	47
Figura 5.5 - Frequências altimétricas da Bacia B .....	47
Figura 5.6 - Perfil Longitudinal da principal linha de água das Bacia A e B .....	48
Figura 5.7 - Perfil Longitudinal da principal linha de água da Bacia B .....	48
Figura 5.8 - Caracterização geológica dos terrenos das bacias hidrográficas (Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos).....	49
Figura 5.9 - Classificação hidrológica dos solos para Portugal Continental (de acordo com SCS) .....	50
Figura 5.10 - Ocupação do solo das bacias hidrográficas (Google Earth).....	51
Figura 6.1 - Zonas inundáveis de acordo com SNIAmb.....	63
Figura 6.2 - Mapa de zonas inundáveis para o período de retorno de 20 anos tendo em conta a profundidade.....	65
Figura 6.3 - Mapa da velocidade de escoamento (em m/s) para o período de retorno de 20 anos. ....	65
Figura 6.4 - Extensão máxima de cheia para o ADAPTARia no cenário C .....	68
Figura 6.5 - Mapa de probabilidade de ocorrência do ADAPTARia .....	69
Figura 6.6 - Zona de cheia no município de Aveiro .....	71
Figura 6.7 - Zona Inundável definida pela Câmara Municipal de Aveiro .....	72

Figura 6.8 - Património Arqueológico e Edificado.....	72
Figura 7.1 - Cruzamento na Avenida da Universidade que dá acesso ao Hospital e a Universidade .....	75

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Fatores considerados por Balica (2012) para calcular o índice de vulnerabilidade a cheias .....	8
Tabela 2.2 - Índice de vulnerabilidade (Balica, 2012) .....	9
Tabela 2.3 - Grau de probabilidade de ocorrência de cheia associado a diferentes períodos de retorno (ANR, 2014) .....	10
Tabela 2.4 - Matriz de risco (ANR, 2014) .....	11
Tabela 2.5 - Classes de risco de cheia, conjugando vulnerabilidade e probabilidade .....	13
Tabela 2.6 - Parâmetros associados às várias metodologias de avaliação do risco de cheia .....	14
Tabela 3.1 - Área das bacias e extensão dos afluentes da Ria de Aveiro (DGRAH, 1981) .....	21
Tabela 3.2 - Volumes e caudais dos vários tipos de maré .....	23
Tabela 4.1 - Precipitação diária máxima anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009) .....	37
Tabela 4.2 - Precipitação anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1949-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009) .....	39
Tabela 5.1 - Características geométricas das bacias hidrográficas (A e B) .....	43
Tabela 5.2 - Características do sistema de drenagem das bacias hidrográficas (A e B) ....	44
Tabela 5.3 - Características do relevo das bacias hidrográficas (A e B) .....	46
Tabela 5.4 - Tempos de concentração (em horas) das bacias hidrográficas .....	53
Tabela 5.5 - Parâmetros a e b das curvas IDF na área de estudo, para os diferentes períodos de retorno .....	55

Tabela 5.6 - Caudais de ponta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) da bacia A .....	59
Tabela 5.7 - Caudais de ponta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) da bacia B .....	60
Tabela 6.1 - Tabelas dos caudais de ponta para os afluentes à Ria de Aveiro.....	64
Tabela 6.2 - Altura da maré meteorológica para os períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos .....	67
Tabela 6.3 - Número, duração e intensidade média de eventos de maré meteorológica simulados pelos modelos CCSM3 e ECHAM5 para a região costeira de Aveiro, para os climas atual e futuro.....	67







## Capítulo 1 - **Introdução**

O Parlamento Europeu criou a Directiva 2007/60/CE de 27 de outubro, que tem como objectivo estabelecer um quadro para avaliação e gestão dos riscos de inundações, a fim de reduzir as consequências associadas às inundações, que sejam prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas. Os Estado-Membros ficaram assim obrigados à elaboração de cartas de zonas inundáveis e riscos de inundação, tendo que assegurar a conclusão destas até 22 de Dezembro de 2013.

Aveiro é uma região bastante particular, que reúne vários tipos de água (doce e salgada) e morfologias, possuindo uma zona costeira e uma zona lagunar, bem como a elevada influência do Rio Vouga e seus afluentes. Devido a todas estas características o comportamento da Ria de Aveiro não é de simples análise, tendo inúmeras variáveis que o afectam, motivando o desenvolvimento do estudo que se apresenta.

### **1.1 Enquadramento**

A Directiva 2007/60/CE de 27 de outubro define “Inundação” como a cobertura temporária por água de um terreno normalmente não coberto por água. Inclui as cheias ocasionadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água efémeros mediterrânicos, e as inundações ocasionadas pelo mar nas zonas costeiras, e pode excluir as inundações com origem em redes de esgotos. Define também o “Risco de inundação” como a combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas.

As cheias urbanas têm grandes impactos, particularmente em termos de perdas económicas, quer direta ou indiretamente, dado que a zona urbana apresenta uma grande concentração de pessoas, intensa actividade económica, e valor elevado de infra-estruturas e propriedades. A forma como estes fenómenos afectam a vida das pessoas tem de ser compreendida (APFM, 2008). Em geral, as causas das inundações urbanas são a precipitação intensa combinada com a sobrecarga dos sistemas de drenagem, a subida do nível freático (natural ou artificial) e a ocorrência de cheias (Ramos, 2009).

No caso do presente estudo, pretende-se avaliar a situação da cidade de Aveiro. Aveiro situa-se nas coordenadas geográficas 40°38'39'' N de latitude e 8°38'43'' O de longitude, encontrando-se na região centro de Portugal. A cidade é atravessada pela Ria de Aveiro (Figura 1.1), que tem uma forte influência nos fenómenos de cheia desta região.



**Figura 1.1 – Vista aérea da cidade e da Ria de Aveiro (Google Earth, 2018).**

A Ria de Aveiro formou-se no século XVI, devido ao recuo do mar, bem como à formação de cordões litorais que assim originaram a laguna. A ria tem uma extensão de 45 quilómetros e uma largura de aproximadamente 11 quilómetros, no sentido este-oeste. A zona de foz distribui-se por cerca de 11 mil hectares, sendo que mais de 6 mil estão cobertos de água de forma permanente (Ria de Aveiro, 2018). A Ria de Aveiro teve e tem um papel essencial no desenvolvimento da região e da cidade, em termos económicos, como o grande exemplo das salinas; de recursos existentes, onde existe uma grande biodiversidade e condições propícias a várias atividades, como a prática de desportos náuticos; e mais recentemente ao nível do turismo, que teve uma expansão assinalável. A cidade apresentava no ano de 2017 uma população residente de 77436 habitantes (FFMS, 2018).

A hidrologia da Ria de Aveiro é essencialmente dominada pela força das marés, responsável pela forte mistura das massas de água. O influxo de água doce, especialmente

devido aos rios Vouga e Antuã, bem como o rio Boco após períodos de intensa precipitação, também tem de ser considerado nos mecanismos de circulação (Dias *et al*, 1999).

Caudal é o volume de água que passa numa determinada secção por unidade de tempo, e considera-se importante determinar os seguintes caudais: médio anual, máximo anual, de Inverno e de Verão.

O caudal médio anual é a média dos valores dos caudais médios mensais que ocorrem durante o ano, enquanto o caudal máximo é o valor máximo registado ou caudal máximo previsível para um dado período de retorno. Os caudais de Inverno são os caudais que ocorrem entre os meses de Outubro a Março, e são elevados devido à maior precipitação e às menores temperaturas, que levam a uma diminuição da evaporação (Ferreira e Brito, 2009). Os caudais de Verão são os caudais contidos nos meses de Abril até Setembro, e são mais baixos pois os valores de precipitação são menores e as temperaturas são mais elevadas, levando a uma maior evaporação da água.

## **1.2 Objetivos**

Esta dissertação tem como objectivos fazer, numa primeira fase, uma revisão sobre abordagens de avaliação de risco de inundação. De seguida, fazer a caracterização do histórico de cheias registadas em Aveiro, fazendo a distinção entre cheias conforme a sua origem (costeira, lagunar, pluvial) e tentando assim determinar os locais da zona urbana da cidade mais expostos e propensos a serem afectados pelos fenómenos de cheia. Pretende-se também realizar a avaliação de caudais pluviais em 2 pontos da cidade e por último apresentar uma revisão e discussão sobre os mapas atuais de risco de cheia, procurando também encontrar medidas adequadas a implementar para a minoração das consequências negativas nos locais mais expostos, nomeadamente através dum melhor planeamento urbano.

## **1.3 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, este primeiro que serve de introdução, seguido de cinco de desenvolvimento e por último, o sétimo, onde são apresentadas as conclusões.

No segundo capítulo é feito o levantamento de alguns métodos, nacionais e internacionais, de avaliação e classificação dos vários níveis de risco aos fenómenos de inundações em zonas urbanas, procurando-se analisar a relevância e influência dos diversos fatores relacionados com cada método, bem como o estabelecimento duma selecção com fatores mais comuns e utilizados pelos vários métodos.

No terceiro capítulo é apresentado o levantamento histórico das cheias urbanas ocorridas na cidade de Aveiro, por tempo e espaço, sendo feita a descrição (possível) dos eventos, bem como das suas (possíveis) causas. É ainda tecida uma breve consideração do impacto da instalação do sistema de eclusas e comportas no Canal das Pirâmides, que se estende da zona da antiga lota até ao Canal Central (Rota da Bairrada, 2018), no controlo dos níveis de água nos canais.

No quarto capítulo é feita a caracterização pluviométrica da área em estudo, utilizando os dados observados em 3 postos udométricos (Albergaria-a-Velha, Gafanha da Nazaré e Oliveira do Bairro).

No quinto capítulo é realizada a caracterização hidrográfica de duas bacias hidrográficas definidas, a primeira mais abrangente, englobando a zona urbana da cidade de Aveiro, sendo a segunda bacia uma secção específica da primeira, onde existe uma maior concentração de cursos de água.

O sexto capítulo procura apresentar várias metodologias distintas que levaram à criação dos mapas de vulnerabilidade por várias entidades e projectos (SNIRH, ADAPTARia, AMRIA, SECUR-RIA, POLIS e Câmara Municipal de Aveiro), sendo posteriormente, feita a discussão das vantagens e desvantagens de cada um deles, bem como os fatores considerados relevantes.

No último são apresentadas as conclusões, bem como um ligeiro comentário sobre os desenvolvimentos futuros e medidas de intervenção para solucionar e/ou mitigar os efeitos das cheias urbanas.

## Capítulo 2 - Riscos de inundação

As cheias e inundações ocorrem principalmente na sequência de fenómenos de precipitação extrema e de frequência variável, que de forma natural ou induzida pela ação humana podem resultar na submersão de terrenos usualmente emersos.

Neste capítulo procede-se à identificação de alguns dos vários métodos de avaliação do risco de cheia, fazendo o levantamento dos parâmetros utilizados por cada um deles, de forma a perceber qual a sua utilidade numa eventual abordagem alternativa para aplicação específica à região de Aveiro, através da verificação de quais os parâmetros mais comuns aos vários métodos. Essa avaliação do risco é feita, em geral, recorrendo à combinação da vulnerabilidade de determinado local e da probabilidade de ocorrência de um fenómeno de inundação, sendo que cada método traz a si diferentes perspectivas e conceitos, enquadrando a relevância aos diversos factores na especificidade da sua abordagem.

Na parte final deste capítulo, também é avaliado o impacto que as alterações climáticas poderão ter no futuro e de que forma essas mudanças devem ser tidas em conta neste contexto do surgimento de cheias em zonas urbanas.

### 2.1 Identificação de alguns métodos de avaliação do risco

Foram identificados vários métodos, que foram aplicados a diferentes zonas de incidência, pelo que se faz assim a divisão dos métodos conforme a abordagem encontrada seja a um nível internacional (APFM, 2008; Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagah, 2013 e Ouma e Tateishi, 2014), nacional (ANR, 2013) ou especificamente localizado em Aveiro (ADAPTARia, 2013).

#### 2.1.1 APFM (2008)

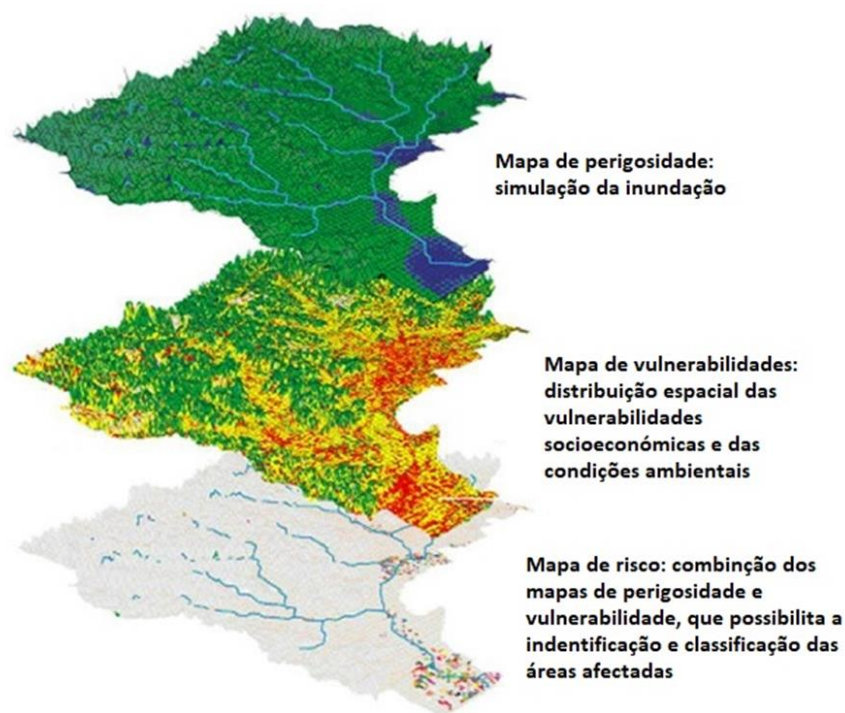
De acordo com “*Urban Flood Risk Management*” (APFM, 2008), o risco é calculado em função de três fatores: perigo (cheias urbanas), exposição e vulnerabilidade (Figura 2.1). A exposição refere-se à questão das pessoas (ou património) estarem em zonas localizadas ao alcance das cheias. Um dos maiores fatores para o aumento dos danos das cheias urbanas deve-se ao crescente número de pessoas e valores em zona urbana fisicamente exposta às cheias, muitas das vezes resultado de um crescimento não

planeado. A vulnerabilidade é determinante na avaliação do facto da exposição ao perigo poder ter contornos de desastre, sendo, segundo este método, dividida em três tipos: vulnerabilidade física das pessoas e infraestruturas; organização e condições económicas desfavoráveis; atitudes e motivações. O primeiro tipo relaciona-se, para além da densidade populacional, com as características dos diferentes grupos de pessoas, tendo as pessoas (e zonas) de condições financeiras superiores mais meios para se protegerem do que as pessoas de menor poder económico. As pessoas mais jovens e mais saudáveis também têm uma vulnerabilidade inferior às crianças e pessoas idosas, bem como pessoas com a saúde mais fragilizada. O segundo tipo leva em consideração a possível falta de estruturas organizacionais com capacidade para responder a situações de stress e de potenciais situações caóticas, enquanto a existência de organizações e instituições, formais ou informais, poderá funcionar como fator estabilizador. Por outro lado, os indivíduos em condições mais desfavoráveis terão uma rede social mais limitada, tal como uma menor capacidade de arranjar maneiras de se precaverem dos possíveis danos que venham a afectar a sua vida e forma de subsistência, nomeadamente o não investimento em seguros contra inundações. O terceiro tipo refere-se ao desconhecimento e relutância em atuar de forma preventiva e de implementar medidas que mitiguem as consequências de possíveis fenómenos.

Um plano de gestão das cheias urbanas terá que começar pela avaliação de riscos de cheia atuais e futuros. Esta avaliação do risco deve ser realizada de forma integrada, começando pela análise dos dados hidro-meteorológicos e a simulação hidráulica das cheias, e em seguida caracterizando do ponto de vista económico, político, sociocultural e ecológico as zonas propensas a cheias (APFM, 2008).

Diferentes cenários devem ser modelados para ter em conta as possíveis mudanças futuras, como a variabilidade do clima e o desenvolvimento da urbanização. Os resultados destes modelos dão informação sobre a frequência e magnitude das cheias expectáveis, permitindo assim a delimitação das áreas sujeitas às cheias (APFM, 2008).





**Figura 2.1 - Mapa de risco obtido usando a metodologia de avaliação de risco adoptada em APFM (2008)**

### **2.1.2 Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagh (2013)**

Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagh (2013) consideraram a exposição (E), a susceptibilidade (S) e a resiliência (R) como as 3 razões importantes para a determinação da vulnerabilidade às cheias e posterior avaliação do risco nas áreas urbanas. A exposição refere-se às populações que vivem em zonas inundáveis. A susceptibilidade tem em consideração os fatores sistémicos que afectam as probabilidades de consequências prejudiciais. A resiliência é a capacidade de adaptação da comunidade a mudanças que levem à implementação dum nível estrutural e funcional aceitável. Relativamente a este método, Balica (2012) elaborou uma tabela (Tabela 2.1) com diversos fatores no âmbito destes 3 indicadores.

**Tabela 2.1 - Fatores considerados por Balica (2012) para calcular o índice de vulnerabilidade a cheias**

<b>Fatores</b>	<b>Indicadores</b>		
	<b>Exposição</b>	<b>Susceptibilidade</b>	<b>Resiliência</b>
<b>Social</b>	Densidade populacional	Mortalidade infantil	Sistema de alerta
	Pessoas incapacitadas		Evacuação das ruas
	Herança cultural		Serviços de emergência
	Crescimento populacional		Abrigos
			Experiências passadas
			Sensibilização e preparação
<b>Económico</b>	Proximidade ao rio	Desemprego	Quantidade de investimento
	Indústrias	Crescimento urbano	Seguro de cheia
	Descarga do rio	Índice de desenvolvimento urbano	Capacidade de armazenamento das represas
	Precipitação		
	Taxa de evaporação		
<b>Ambiental</b>	Uso do solo		Armazenamento ao longo de escoamento anual
	Contacto com o rio		Diques
	Topografia		
	Taxa de evaporação		
	Precipitação		

Com base nos indicadores apresentados, o índice de vulnerabilidade (FVI) é depois calculado através da fórmula seguinte (Balica *et al.*, 2012).

$$FVI = \frac{E + S}{R}$$

O índice calculado é depois atribuído a um nível de vulnerabilidade relativamente às cheias, de acordo com a Tabela 2.2 (Balica, 2012).

**Tabela 2.2 - Índice de vulnerabilidade (Balica, 2012)**

<b>Índice de vulnerabilidade</b>	<b>Descrição</b>
< 0,01	Vulnerabilidade muito pequena
0,01-0,25	Vulnerabilidade pequena
0,25-0,50	Vulnerável
0,50-0,75	Vulnerabilidade alta
0,75-1	Vulnerabilidade muito alta

### **2.1.3 Ouma e Tateishi (2014)**

De acordo com Ouma e Tateishi (2014), a avaliação da vulnerabilidade relativamente à cheia urbana é realizada tendo em conta as seguintes variáveis:

- Elevação e declive dos terrenos; pois estes parâmetros apresentam um papel importante na estabilidade do terreno, sendo que o declive tem um efeito dominante na drenagem das águas pluviais, controlando o escoamento, a infiltração, e o escoamento subterrâneo.
- Tipo de solo; onde a textura e a humidade do solo são considerados as características mais importantes. A textura influencia a permeabilidade dos solos, enquanto a humidade do solo serve de interface entre a superfície e a atmosfera, tendo um papel importante na acumulação de água à superfície, que permite o crescimento de vegetação e a consequente redução da erosão do solo.
- Precipitação; dado que esta está diretamente relacionada com a quantidade de água presente numa bacia hidrográfica.
- Densidade de drenagem; assume-se como um fator importante no controlo da acumulação de água.
- Uso da terra e tipo de cobertura; são considerados uns dos principais parâmetros na realização do mapeamento da vulnerabilidade já que têm um papel importante na estabilidade do solo e nas condições de infiltração.

#### 2.1.4 ANR (2014)

De acordo com o ANR (2014), elaborado de acordo com as “*Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management*” emitidas pela Comissão Europeia e adotada pela CNPC (Comissão Nacional de Proteção Civil), a análise de risco de cheias e inundações engloba a identificação da localização do risco e uma breve caracterização da ocorrência-tipo. Na identificação da localização do risco descreve-se a distribuição geográfica da susceptibilidade e identificam-se os principais elementos expostos. Na caracterização da ocorrência-tipo (situação exemplificativa da manifestação do risco), apresenta-se uma breve descrição da ocorrência e a sua avaliação no que se refere aos graus de probabilidade, de gravidade e de risco.

Em relação aos graus de probabilidade, o ANR (2014) apresenta a Tabela 2.3, fazendo a correspondência dos vários níveis do grau de probabilidade com o período de retorno.

**Tabela 2.3 - Grau de probabilidade de ocorrência de cheia associado a diferentes períodos de retorno (ANR, 2014)**

<b>Grau de Probabilidade</b>	<b>Probabilidade Anual</b>	<b>Período de Retorno (anos)</b>
<b>Elevado</b>	$\geq 0,2$	$\leq 5$
<b>Médio-alto</b>	0,05 - 0,2	]5 - 20]
<b>Médio</b>	0,02 - 0,05	]20 - 50]
<b>Médio-baixo</b>	0,005 - 0,02	]50 - 200]
<b>Baixo</b>	$< 0,005$	$> 200$

Em relação ao grau de gravidade, este é dividido nos seguintes níveis: residual, reduzido, moderado, acentuado e crítico. A sua avaliação é efetuada de acordo com os impactos provocados pela ocorrência-tipo, enquadrando as consequências destes em 3 parâmetros (população, ambiente e socioeconómica). A matriz de risco é então criada combinando os níveis dos graus de probabilidade e dos de gravidade (Tabela 2.4).

**Tabela 2.4 - Matriz de risco (ANR, 2014)**

		Grau de gravidade				
		Residual	Reduzido	Moderado	Acentuado	Crítico
Grau de Probabilidade	Elevado	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
	Médio-alto	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco elevado	Risco extremo
	Médio	Risco baixo	Risco moderado	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo
	Médio-baixo	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo
	Baixo	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo

O ANR (2014) também faz referência às alterações climáticas, considerando que o comportamento do clima é determinante na análise de riscos associados a certos fenômenos naturais. Como muito dos riscos naturais nos domínios da meteorologia, hidrologia e geodinâmica externa são motivados pelas variáveis climáticas, a probabilidade e a gravidade da manifestação destes riscos, são influenciadas pelas alterações climáticas.

Assim, face à consciência generalizada de que existe um processo de alterações climáticas em curso, torna-se necessário compreender as novas e futuras tendências das principais variáveis climáticas. Deste modo, é introduzida mais uma incógnita à análise dos elementos precursores dos riscos, podendo dar origem ao agravamento ou atenuação dos mesmos. A integração das alterações climáticas na avaliação nacional de risco requer um acompanhamento da evolução do conhecimento científico de acordo com os modelos e cenários que vão sendo disponibilizados. Para além disso, as lacunas e incertezas no conhecimento atual obrigam à adoção de um sistema dinâmico de avaliação de risco que complemente a deteção dos novos padrões de risco através da monitorização (ANR, 2014).

Os padrões de precipitação no clima futuro apresentam um grau de incerteza superior ao das variáveis térmicas do clima. Apesar da incerteza, perspectiva-se uma evolução dos

padrões de precipitação no sentido de haver uma redução da duração da estação chuvosa e uma intensificação da precipitação nesse período em contraste com a redução da precipitação na primavera, verão e outono. Esta dinâmica vai determinar a ocorrência de um maior número de episódios de cheias e inundações durante o inverno. Aliás, este resultado vem expresso na tendência crescente do máximo anual de precipitação acumulada em 5 dias consecutivos – um indicador de ocorrência de cheias (ANR, 2014).

Contudo, em Portugal, os cenários para a precipitação são diferentes das observações das últimas décadas em que também é detectada uma forte variabilidade à escala sazonal, mas num regime com tendência para diminuição da precipitação total na primavera e aumento no outono (ANR, 2014).

### **2.1.5 ADAPTARia**

No projeto ADAPTARia (Dias e Alves, 2013), o roteiro metodológico para a avaliação da vulnerabilidade e risco de cheia seguiu os seguintes passos: integração dos vários cenários de cheia; determinação da probabilidade de ocorrência de cada cenário através da estimativa dos períodos de retorno associada a cada cenário; atribuição de vários graus de vulnerabilidade às cheias de acordo com as características do terreno e sua susceptibilidade a estes fenómenos; estabelecimento das várias classes de risco de cheia das diversas zonas ao combinar a probabilidade de ocorrência destes fenómenos com o grau de vulnerabilidade das zonas afectadas, criando para esses efeitos a seguinte tabela (adaptada do ANPC/DNPP, 2009).

**Tabela 2.5 - Classes de risco de cheia, conjugando vulnerabilidade e probabilidade**

		Probabilidade		
		Baixa	Média	Elevada
Vulnerabilidade	Elevada	Risco Elevado	Risco Elevado	Risco Extremo
	Moderada	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado
	Baixa	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado
	Residual	Risco Residual	Risco Baixo	Risco Baixo

Nesta metodologia os períodos de retorno foram relacionados com as probabilidades de ocorrência, considerando-se probabilidade elevada de ocorrência para situações com períodos de retorno de 2 anos, probabilidade média para 10 anos e probabilidade baixa para 100 anos de período de retorno (Dias e Alves, 2013).

## 2.2 Identificação de parâmetros a utilizar

Cada metodologia vai buscar e dá relevo a diversos fatores, alguns mais comuns entre elas, outros mais específicos a uma ou outra metodologia, para proceder à conceptualização do modelo de avaliação do risco de cheia (urbana). É através da comparação das listas de parâmetros considerados influentes por cada metodologia, que se teoriza uma metodologia unificadora, nomeando como relevantes os fatores mais partilhados pelas várias metodologias. Como resultado da revisão bibliográfica de algumas abordagens para a caracterização do risco de cheia, foram identificados diversos parâmetros nas várias metodologias de avaliação do risco (Tabela 2.6). Na tabela, as metodologias de Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagah (2013) e de Ouma e Tateishi (2014) são identificadas apenas pelo nome do 1º autor.

**Tabela 2.6 - Parâmetros associados às várias metodologias de avaliação do risco de cheia**

<b>Parâmetros</b>	<b>APFM</b>	<b>Nasiri</b>	<b>Ouma</b>	<b>ANR</b>	<b>ADAPTARia</b>
Caudais de ponta	X		X	X	X
Precipitação		X	X	X	X
Densidade populacional	X	X		X	X
Crescimento populacional	X	X			
Uso do solo	X	X	X	X	X
Indústrias		X			
Topografia		X	X	X	
Taxa de evaporação		X			
Sensibilização	X	X			
Tipo de solo			X		
Drenagem			X		

Ao confrontar estas várias metodologias é possível perceber quais dos parâmetros são denominadores comuns considerados como influentes, tornando-os uma referência para as abordagens que se queiram promover. Assim, de acordo com a tabela apresentada, consideram-se como essenciais para a avaliação do risco de cheia os parâmetros mais comuns aos vários métodos.

- Caudais de ponta e precipitação – os elevados caudais e as precipitações intensas promovem a ocorrência de cheias;
- Densidade populacional – este factor relaciona-se com a vulnerabilidade e exposição das populações e eventuais consequências que um fenómeno de cheia pode trazer, dado que zonas com uma elevada concentração de pessoas estão mais sujeitas a danos humanos e materiais;
- Uso do solo – o tipo de utilização que o solo tem influencia a acumulação e escoamento da água, sendo que as áreas naturais e agrícolas, com solo coberto de vegetação, facilitam a infiltração da água da chuva no solo, enquanto as zonas edificadas e alcatroadas são impermeáveis, levando aos escorrer da água à



superfície e aumentando assim a propensão ao aparecimento de cheias, por redução dos tempos de concentração das respectivas bacias;

- Topografia – A água escoar das cotas mais altas para as mais baixas, o que faz com que as zonas a cotas mais baixas duma determinada bacia hidrográfica sejam as zonas mais problemáticas relativamente à ocorrência de inundações;

Em resumo, para analisar o desenvolvimento de uma cheia e consequente inundação, existem quatro factores preponderantes: o tipo de fenómeno meteorológico associado; a dimensão da bacia hidrográfica em causa; as características topográficas e de ordenamento do território da zona inundável e os factores socio-económicos (Rocha, 1998).

### **2.3 Alterações climáticas**

A ria de Aveiro é uma laguna costeira, situada na região centro de Portugal continental, ligada ao Oceano Atlântico através de uma embocadura integrada na bacia hidrográfica do rio Vouga, possuindo uma elevada vulnerabilidade às inundações fluviais e marinhas.

As alterações climáticas também afectam os fenómenos das inundações na zona de costa, dado provocarem a subida do nível da água do mar, bem como mudanças na agitação marítima existente, ao nível da altura das ondas e dos seus rumos. Contudo, estando este trabalho focado na cidade de Aveiro, as consequências geradas acabam por não se considerarem particularmente importantes nesse contexto de cheia urbana.

Também a zona da laguna de Aveiro sofre mudanças de comportamento, mas devido aos sistemas de controlo dos níveis da água, não se perspectiva, de momento, uma situação preocupante.

Em termos de cenário urbano, os efeitos das alterações climáticas serão mais sentidos na precipitação, sendo esta a grande condicionante a considerar para as ocorrências de cheias na cidade de Aveiro.



### Capítulo 3 - Zona de Estudo

Neste terceiro capítulo é realizada a identificação das ocorrências de cheia urbana na cidade de Aveiro ao longo da sua história, sendo apresentada a distribuição dos fenómenos passados de acordo com a sua localização temporal e espacial. A origem dos fenómenos de cheia também é analisada neste capítulo, bem como a variação populacional recente ocorrida na cidade de Aveiro.

Na pesquisa desenvolvida é natural que não se tenham identificado todas as grandes cheias, mas apresenta-se uma base de dados que poderá também facilitar trabalhos futuros. Para realizar este levantamento recorreu-se à Biblioteca Municipal de Aveiro e ao Museu Marítimo de Ílhavo, em específico à subunidade deste último, o CIEMar (Centro de Investigação e Empreendedorismo do Mar), fazendo a pesquisa através da internet, de trabalhos científicos, de relatórios técnicos, livros e jornais. A Imagoteca do Museu de Aveiro também forneceu várias fotografias que se apresentam neste capítulo, representativas de situações de cheia.

A cidade de Aveiro apresentava, de acordo com o INE e a PORDATA, uma população residente de 77436 habitantes em 2017, tendo apresentado no Censos de 2001 e 2011, uma população de 73535 e de 78450 habitantes, respectivamente. Nota-se um aumento da população residente (quase 5 mil habitantes) com o início do século, mas estando esta na atualidade relativamente estabilizada. Em relação aos dados de 2017, é interessante observar a população residente em termos dos diferentes grupos etários, dado que é um dos factores importantes na determinação da vulnerabilidade, entendendo-se que os grupos mais novos e mais velho apresentam um grau de vulnerabilidade maior. A cidade de Aveiro apresenta uma população residente de 10879 habitantes na faixa etária dos 0 aos 14 anos. De referir que esse número está ligeiramente abaixo dos valores de 2001 e 2011, algo que é explicado com a redução do número de nascimentos. No lado oposto do espectro, a população residente com mais de 65 anos é de 14971 habitantes, número que subiu consideravelmente quando comparado com o verificado em 2001, e também ele explicado com as tendências gerais do país de envelhecimento da população.

### 3.1 Cheias costeiras e cheias urbanas

É possível diferenciar os vários tipos de eventos de cheias através das características que estas apresentam. A localização onde ocorrem permite logo à partida prever qual a origem da inundação. No caso das cheias em zonas urbanas, a significativa presença de solos impermeáveis, fruto da construção, faz com que estas zonas sejam potencialmente propensas a ocorrência de inundações, quando perante chuvadas de elevada intensidade e/ou duração. A eficiência do escoamento das águas pluviais e de saneamento é também um fator importante, e a sobrecarga nos sistemas de escoamento (condutas, sumidouros, valetas, etc.) pode resultar no transbordo das águas para as vias/zonas públicas. O dimensionamento destes elementos revela-se assim fundamental na prevenção da existência destes episódios. O estado dos materiais também exerce peso na influência da eficiência do escoamento das águas.

Outra característica a considerar nos eventos de cheia é a espécie de fenómeno meteorológico que lhes terá dado origem (Estrela *et al.*, 2001). Na Europa, é feita a divisão em dois tipos principais de eventos:

- Precipitação sazonal, provocada pela passagem de superfícies frontais pelo território, ocorrendo em bacias hidrográficas de grande dimensão. Nestes casos, o hidrograma de cheia apresenta geralmente uma base larga, e a subida/descida do nível das águas é lenta, podendo a cheia estender-se por vários dias;
- Inundações rápidas e violentas, típicas de bacias hidrográficas de pequena ou média dimensão, associadas a precipitações muito intensas de curta duração, localizadas e isoladas. As descargas duram normalmente apenas horas ou minutos.

Em relação ao primeiro tipo, este caracteriza-se pela inundação de grandes áreas, por uma resposta mais lenta da bacia à causa da cheia (normalmente precipitação contínua ao longo de vários dias na sequência da passagem de superfícies frontais), maior duração, e caudais mais baixos e de menor velocidade do que os que ocorrem em inundações repentinas. Por outro lado, como o nível das águas sobe lentamente e o tempo de resposta da bacia é longo, existe uma maior margem de manobra para actuação de sistemas de aviso e alerta à população e para o efectivo funcionamento de sistema de defesa e mitigação da ocorrência. Neste caso, a utilização da previsão em tempo real, através de

programas de monitorização de caudais e precipitação, poderá ser um trunfo valioso. Este é o tipo de cheia que mais se aproxima dos episódios verificados na bacia do Vouga. Os impactos e os danos económicos resultantes deste tipo de inundação poderão ser graves, atendendo à dimensão da área inundada, e ao facto de, muitas vezes, as comunidades em causa não estarem preparadas para o risco a que estão sujeitas.

Quanto ao segundo tipo de inundação, encontra-se associado a situações de tempestade, a áreas montanhosas, onde o declive acentua a precipitação e a possibilidade de deslizamentos, ou, em situações excepcionais, à rotura de barragens. Tendem a ser eventos localizados, numa escala geográfica muito menor do que o primeiro tipo, mas devido ao seu rápido desenvolvimento, à velocidade dos escoamentos envolvidos, e ao facto de muitas vezes estarem associados a fenómenos de deslizamento de terras, constituem o maior risco em termos de perda de vidas humanas.

### **3.2 Caudais afluentes à Ria de Aveiro**

Nesta secção é feita a caracterização da área de estudo da Ria de Aveiro e das bacias hidrográficas dos seus principais rios afluentes (Vouga, Antuã, Cáster, Boco e Vala da Fervença).

Na região de Aveiro, os incidentes hidrográficos de maior dimensão são o Rio Vouga e afluentes e a Ria de Aveiro. Esta cobre uma área total de 11 000 ha, sendo cerca de 6000 ha permanentemente submersos. Tem um comprimento de 45 km e largura máxima de 8,5 km – é o maior incidente lagunar da Península Ibérica.

#### **3.2.1 Caracterização da área de estudo**

Como referido anteriormente, a Ria de Aveiro é uma laguna costeira de águas pouco profundas, situada a Noroeste na costa portuguesa (40° 38'N, 8°45'W), ligada ao Oceano Atlântico através duma única embocadura. Localiza-se no litoral centro de Portugal, estando integrada na bacia hidrográfica do rio Vouga. Tem uma área variável entre 83 km<sup>2</sup> (preia-mar) e 66 km<sup>2</sup> (baixa-mar), uma largura máxima de 8,5 km na sua zona central, um comprimento de 45 km e uma profundidade média relativamente ao zero hidrográfico de 1 m (Dias *et al.*, 2000). As profundidades máximas (cerca de 30 m) são observadas no canal da embocadura, sendo também observadas profundidades

elevadas (a rondar os 10 m) nos canais de navegação, que são mantidos artificialmente através da realização de dragagens de manutenção (Dias e Lopes, 2006).

A Ria de Aveiro tem uma geometria bastante complexa, caracterizada pela presença de sapais, marinhas de sal e canais meandrizados de dimensão muito reduzida. Na sua geometria destacam-se quatro canais principais: três que se estendem segundo a direção Norte-Sul (S.Jacinto-Ovar, Mira e Ílhavo) e um segundo a direção Este-Oeste (Espinheiro) (Dias, 2009).

A hidrologia da Ria de Aveiro é essencialmente dominada pela força das marés, responsável pela forte mistura das massas de água. O influxo de água doce, especialmente devido aos rios Vouga e Antuã, bem como o rio Boco após períodos de intensa precipitação, também tem de ser considerado nos mecanismos de circulação (Dias *et al.*, 1999).

A zona envolvente da Ria de Aveiro tem reduzida altitude e relevo orográfico, o que implica uma elevada vulnerabilidade às inundações.

Deste modo, a hidrodinâmica da Ria de Aveiro depende das condições climáticas adversas: chuvas torrenciais, que conduzem ao aumento dos caudais fluviais; ocorrência de baixas pressões N/NW de Portugal e S-SW, associadas aos ventos fortes de Sul, que originam sobreelevações do nível do mar. É de salientar que a ocorrência destas sobreelevações em simultaneidade com marés-altas, e tendo em consideração a subida do nível médio do mar projetada para a costa portuguesa, podem originar inundações costeiras significativas. A morfodinâmica da Ria de Aveiro depende também do regime de ondas do Atlântico Nordeste.

Tendo em consideração as características da hidro/morfodinâmica da Ria de Aveiro, constata-se a sua sensibilidade a factores externos, nomeadamente factores antropogénicos e alterações climáticas. No primeiro caso devem salientar-se os efeitos que as obras costeiras/portuárias, o abandono da exploração da área de salgado e a ausência de manutenção dos vários canais da laguna podem provocar. Os fenómenos associados às alterações climáticas podem amplificar os efeitos dos forçamentos (Dias, 2009).

A população total que drena para a Ria de Aveiro ultrapassa 600 mil habitantes, o que corresponde a uma densidade acima dos 170 habitantes/km<sup>2</sup>. As áreas de maior densidade

da Bacia Hidrográfica do Vouga são no Norte e correspondem às bacias dos rios Cáster e Antuã (PMA, 2006).

A Tabela 3.1 (DGRAH, 1981) apresenta a área da bacia e sua extensão, dos afluentes da Ria de Aveiro.

**Tabela 3.1 - Área das bacias e extensão dos afluentes da Ria de Aveiro (DGRAH, 1981)**

Curso de Água	Área bacia (km <sup>2</sup> )	Extensão (km)
Rio Cáster	86,7	20,5
Rio Antuã	149,2	38,3
Rio Vouga	3635	147,9
Rio Boco	267,6	30,0

### **3.2.2 Caudais de referência (massa de água doce)**

Para se obter os caudais da Ria de Aveiro, terá que se considerar as massas de água salgada e doce. A massa de água doce que chega à Ria de Aveiro regista um caudal fluvial médio de  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ao qual corresponde um volume de  $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ . O sistema hidrográfico da Ria de Aveiro é dominado pelo Vouga, que debita na laguna um fluxo médio anual de  $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Os outros cursos de água que desaguam nesta laguna têm reduzida dimensão, quer em comprimento, que em caudal, tendo o Antuã o caudal médio anual de  $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Durante a época das chuvas o fluxo de água doce pode atingir valores na ordem dos  $820 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Borrego *et al.*, 1994).

A comparação entre os caudais fluviais e os de maré permite constatar que para o funcionamento hidráulico global da Ria, a maré é o factor com maior importância (adaptado de GRIA, 1990). Os caudais fluviais apenas adquirem significado para o funcionamento hidráulico global nos períodos de cheias (Borrego *et al.*, 1994).

### 3.2.3 Caudais de referência (massa de água salgada)

Na Ria de Aveiro, a circulação é dominada pela maré. As ondas locais de maré sofrem reduções de amplitude, atrasos e deformações acentuadas à medida que a maré avança para o interior da laguna. Os atrasos em baixa-mar são mais acentuados, excedendo as 5 horas nas cabeceiras Norte e Sul da laguna. A amplitude reduz-se gradualmente para montante, correspondendo as maiores taxas de variação às zonas dos canais em que se dá maior concentração do escoamento, com ocorrência de maiores velocidades.

Na proximidade da barra a propagação das marés é rápida, atingindo cerca de  $7,3 \text{ m.s}^{-1}$  no canal principal de Aveiro. À medida que aumenta a distância à entrada, a velocidade de propagação da maré abranda consideravelmente, dando origem a uma inversão de maré entre a barra e os extremos dos braços mais interiores (Borrego *et al.*, 1994). A velocidade máxima verifica-se nos canais mais estreitos e profundos, sendo cerca de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ , diminuindo à medida que se aproxima o extremo do canal, mas nunca se anula.

Um contributo importante para a renovação da água na laguna é a diferença entre os padrões de corrente de enchente e vazante, já que uma parte importante dos volumes expulsos na vazante não volta a afluir à embocadura na enchente (Vicente, 1985).

A tensão do vento é outro fenómeno que também influencia a circulação geral da laguna e tem influência nas zonas mais largas e mais baixas da Ria, onde a velocidade devida à maré é pequena, provocando um aumento da velocidade da corrente nestes locais.

A água salgada que entra durante a enchente na direção de montante mistura-se com a água doce de origem fluvial por processos de rebentação das ondas internas e turbulência de pequena escala.

Os volumes e caudais da água do mar que penetram a Ria de Aveiro para várias amplitudes e tipos de maré, são as apresentadas na Tabela 3.2 (Borrego *et al.*, 1994):

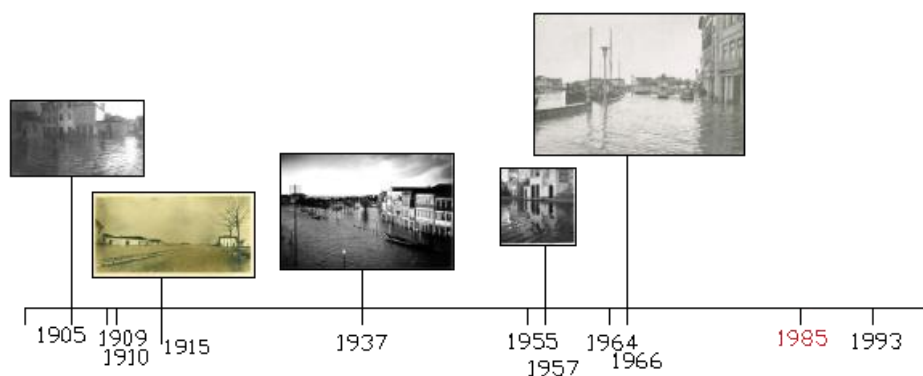


**Tabela 3.2 - Volumes e caudais dos vários tipos de maré**

Maré		Volume de água ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Caudal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
Tipo	Amplitude (m)		
Morta	1,0	25	1700
Viva frequente	2,5	60	4000
Viva extrema	3,0	90	6000

### 3.3 Historial temporal e espacial de cheias na Ria de Aveiro

Na Figura 3.2 é representada a distribuição cronológica dos principais eventos de cheia urbana ocorridos na cidade de Aveiro. A data assinalada a vermelho (1985) diz respeito à inauguração do sistema de eclusas e comportas construído para proteger a cidade das cheias que provinham da ria. Ao analisar a Figura 3.2 é observável a existência duma diminuição de registos de ocorrência de cheias a partir dessa data, o sugere a boa eficiência da medida.



**Figura 3.1 - Distribuição temporal das principais cheias na cidade de Aveiro, no século XX**

### **Sistema de eclusas e comportas inaugurado em 1985**

No dia 21 de Novembro de 1983 foi adjudicada a empreitada do sistema de eclusas e comportas nos canais da Ria de Aveiro, com o objectivo de conseguir a manutenção do nível da água nos canais a um nível aceitável, evitando por um lado a ocorrência de cheias na cidade e por outro o aparecimento de mau cheiro devido ao baixo nível da água. A empreitada foi iniciada em Junho de 1984, tendo o sistema sido inaugurado no dia 23 de Novembro de 1985, permitindo desde então o controlo do nível da água nos canais citadinos da ria (Correio do Vouga, 20-11-1985).

Este controlo do nível da água nos canais da Ria de Aveiro (Figura 3.2) fez com que houvesse uma redução da ocorrência dos eventos de cheias, estando nos dias de hoje a situação relativamente controlada, exceptuando eventuais avarias que impossibilitem o seu funcionamento.



a) Eclusa vista de frente

b) Comporta vista de cima

**Figura 3.2 - Eclusa e comportas no Canal das Pirâmides**

### **Outras estruturas de controlo**

São também encontradas outras estruturas de controlo do nível da água, entre a zona urbana e a lagunar, ao longo do Canal de São Roque.



a) Canal de São Roque



b) Canal de São Roque



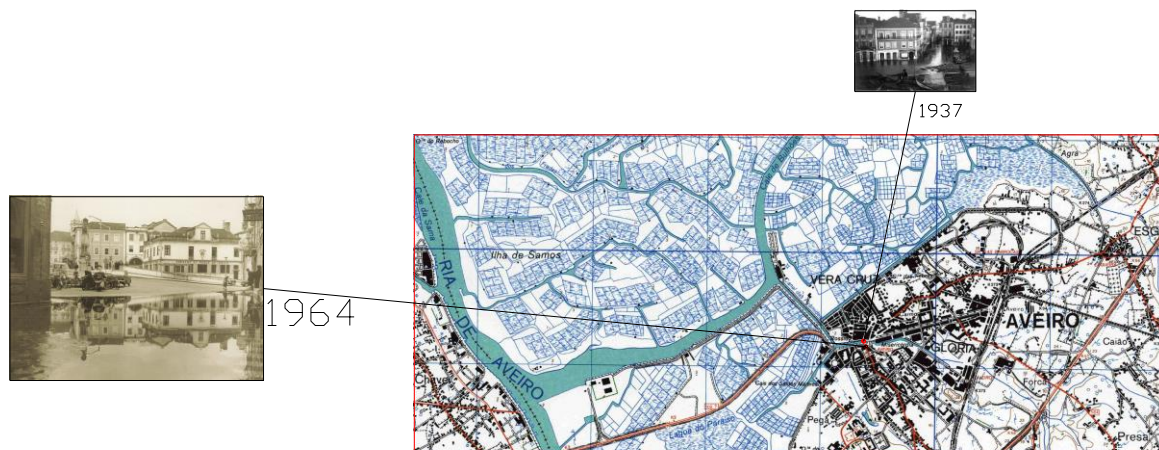
c) Canal de São Roque



d) Canal de São Roque

**Figura 3.3 - Outras estruturas de controlo do nível da água, situadas ao longo do Canal de São Roque**

Na Figura 3.4 é apresentada a distribuição espacial das cheias ocorridas ao longo dos anos. Verificou-se que a inundação ocorre maioritariamente nas áreas de cotas topográficas mais baixas e junto à Ria de Aveiro, como a zona do Rossio e do Canal das Pirâmides.



**Figura 3.4 - Distribuição espacial das principais cheias na cidade de Aveiro**

### **3.4 Descrição das principais cheias**

Nesta secção são analisadas todas as cheias que foram identificadas durante a pesquisa desenvolvida, dividindo-a em cheias que ocorreram antes do século XX e no século XX.

#### **3.4.1 Antes do século XX**

Houve um menor número de eventos de cheia urbana identificados no período anterior ao século XX, dado que a informação dos registos é mais escassa, tal como a ocupação demográfica seria menor, o que reduz o número de relatos das populações afectadas. O próprio desenvolvimento, daquela que é a atual zona urbana, seria bastante diferente, com os solos a possuir diferentes características, nomeadamente ao nível da impermeabilização. Devido à antiguidade dos eventos, nesta secção faz-se uma descrição mais sumária das cheias com base nos relatos identificados.

“Com as enormes cheias de 1526, 1575, 1585, 1596, 1644, 1739 (uma das maiores) e a de 1774, como a barra não dava saída às águas represadas, surgiram epidemias que dizimaram a população. Por outro lado, as marinhas ficaram arruinadas por tempos e a agricultura paralisou. A Ria foi então, naqueles períodos, um cemitério.” (Aveiro E O Seu Distrito, 1966).

Foram encontradas referências a “célebres” cheias ocorridas nos anos de 1526, 1585, 1596, 1739 e 1844, que terão provocado inúmeros prejuízos. É no entanto difícil explorar estes eventos devido à falta de mais informação. Ocorreram antes da abertura do canal em 1815, dado que “o Rio Velho não tinha cava suficiente para dar rápida vazão às grandes enxurradas vindas da serra e dos rios que afluem ao Vouga na última etapa. Existe no entanto mais informação sobre as cheias de 1808, na altura da abertura da nova Barra de Aveiro, no dia 3 de Abril, que provocou a inundação da cidade, tendo alguns campos ficado submersos durante 2 anos. Esta obra foi realizada sob a direção do engenheiro militar Luís Gomes de Carvalho.

### **3.4.2 Século XX**

Foram identificados vários episódios de cheia na cidade de Aveiro que ocorreram no século XX, muitos deles logo no seu início.

#### **Cheias de 1905**

Em 1905 a Praça do Peixe inundou por completo, com uma estimativa da altura de vários centímetros, dado que nas fotografias da Figura 3.5 os pés das pessoas parecem estar submersos.



a) Praça do Peixe



b) Praça do Peixe

**Figura 3.5 - Cheias de 1905 (Imagoteca)**



### **Cheias de 1909**

As cheias de 1909 atingiram as zonas com as cotas topográficas mais baixas da área urbana, como a Praça do Peixe e as ruas circundantes. Também a zona do Canal da Fonte Nova foi atingida (Figura 3.6).



a) Largo da Praça do Peixe e Rua do Tenente Resende



b) Canal da Fonte Nova

**Figura 3.6 - Cheias de 1909 (Aveiro Antigo)**

### **Cheias de 1910**

As cheias de 1910 transbordaram para lá do Canal das Pirâmides, como se pode ver na Figura 3.7, invadindo as ruas que lhe estavam próximas, como a Rua João de Mendonça.



a) Rua João de Mendonça



b) Aspeto da cheia visto da ponte da Dubadoura

**Figura 3.7 - Cheias de 1910 (Aveiro Antigo)**

### **Cheias de 1914 e 1915**

Foram encontradas referências em jornais sobre o tempo rigoroso do inverno de 1914, incluindo a ocorrência de cheias, bem como os seus estragos. “De resto, algumas cheias, árvores derrubadas, deteriorações de casas e estradas, não sendo, porém, Aveiro das terras que mais sofreu por os moradores da parte baixa da cidade se precaverem a tempo contra a invasão das águas da ria, que a inundou.” (Democrata, 1914).

Como habitual, a zona baixa de cidade foi das zonas mais afectadas, “estragos e prejuízos causados em bastantes casas especialmente do lado do Rocío...”, embora as inundações tenham ocupado uma vasta extensão de terrenos, “Para avaliar a altura das águas em Aveiro, basta dizer que elas interceptaram por completo a passagem para a freguesia da Vera Cruz, cobrindo o Côjo numa grande extensão, a rua do Cães, antiga praça do Comércio, rua dos Mercadores e quase por completo a Arcada, caso que nunca se dera, sem falar nas ruas do baixo piscatório, Praça do Peixe, etc. que estiveram todas debaixo de água.” (Democrata, 1915). Tal como as cheias do ano interior, as cheias de 1915 atingiram as zonas de cotas topográficas mais baixas da área urbana, inundando o Rossio e transbordando o leito normal do Canal das Pirâmides (Figura 3.8).



a) Aspeto da cheia no Rossio e Canal das Pirâmides



b) Aspeto da cheia na Rua Bento de Moura

**Figura 3.8 - Cheias de 1915 (Imagoteca)**

### **Cheias de 1937/1938**

No dia 28 de Fevereiro de 1937, houve uma grande cheia na Ria, tendo as águas passado sobre os muros do cais da cidade, invadindo as ruas e entrando nas casas e estabelecimentos comerciais. Como se pode ver pelas fotografias da Figura 3.8, a área da

inundação foi bastante expansiva. A Figura 3.9a mostra a Rua do Clube dos Galitos completamente inundada, tendo a água do canal central avançado sobre ela. Na Figura 3.9b observa-se a inundação na margem do canal oposta, ficando a Rua João Mendonça e a Rua Dr. Barbosa de Magalhães completamente cobertas de água, dando a sensação de os barcos estarem ao mesmo nível das “ruas”. É também visível a forma como o Jardim do Rossio foi afectado. A Figura 3.9c exhibe o aspecto da cheia na Rua João Mendonça e a forma como a água invade a, na altura, Praça do Comércio. A última figura mostra de forma mais específica e detalhada a ocupação da água na atual Praça Dr. Joaquim de Melo Freitas, junto ao Obelisco da Liberdade.



a) Aspeto de cheia na Rua Clube dos Galitos



b) Aspeto de cheia no Jardim do Rossio



c) Aspeto de cheia na Rua João Mendonça



d) Aspeto de cheia na antiga Praça do Comércio

**Figura 3.9 - Aspeto da cheia de 1937 na Rua João Mendonça**

### **Cheias de 1955 e 1957**

Na década de 50 do século XX, o canal da Praça do Peixe foi inundado por mais que uma vez, demonstrando a vulnerabilidade e propensão da localização aos fenómenos de cheia (Figura 3.10).





a) Canal da Praça do Peixe (Aveiro Antigo)



b) Canal da Praça do Peixe (Imagoteca)



c) Canal da Praça do Peixe (Imagoteca)



d) Canal da Praça do Peixe (Imagoteca)

**Figura 3.10 - Aspeto da cheia de 1955 (a) e da cheia de 1957 (b, c, d)**

### **Cheias de 1964 e 1966**

Apesar de identificada a sua ocorrência, não se conseguiu recolher informações sobre a cheia de 1964.

Em Fevereiro de 1966, tempestades assolaram o país e o nível das águas dos rios e seus afluentes subiu pondo em risco as povoações, tendo o pico destas ocorrido nos dias 19, 20 e 21. Segundo o Observatório Meteorológico da Serra do Pilar, a pressão atmosférica ao nível do mar teve no dia 19 os seguintes valores extremos: Máxima 758,0 às 2 horas; Mínima 745,6 às 18 horas. No dia 20 de Fevereiro, um domingo, o temporal que assolou todo o país provocou destruições e variadíssimos prejuízos. No litoral de Aveiro, o mar investiu sobre as praias do cordão de areias e causou sérios prejuízos, tomando a invasão do areal aspectos catastróficos, particularmente na praia da Costa Nova do Prado e na zona sul desta, situada nos concelhos de Ílhavo e Vagos. O mar nesses dias galgou as dunas da beira-mar, destruiu-as numa extensão de quilómetros e as águas salgadas alagaram os terrenos de cultura do areal, vindo a arrombar a estrada marginal da Costa

Nova à Vagueira, numa extensão de cerca de trinta metros a algumas centenas de metros ao sul da Costa Nova e passaram para o canal de Mira. As quintas ficaram inundadas com água do mar, que aniquilou as culturas, e pôs em perigo de vida os moradores da zona e os gados. Há séculos que tal fenómeno não se dava.

A noite do dia 20 para 21 foi particularmente tormentosa, com chuva e muito vento. Segundo o referido Observatório, a pressão atmosférica no dia 20 teve os seguintes valores extremos, reduzidos ao nível do mar: Máxima 744,4 às 0 horas; Mínima 736,6 às 16 horas e 30 minutos. No dia 21 o estado do tempo melhorou. A pressão atmosférica teve os seguintes valores extremos: Máxima 742,4 às 18 horas; Mínima 737,4 às 0 horas e 25 minutos, com tendência para descer.



a) Praça Dr. Joaquim Melo Freitas (Aveiro Antigo)



b) Rua de João de Mendonça



c) Rua Tenente Resende (Imagoteca)



d) Praça Dr. Joaquim Melo Freitas

**Figura 3.11 - Aspeto da cheia de 1964 (a) e da cheia de 1966 (b, c, d)**

Nos dias 20 e 21 de Fevereiro de 1966 fenómeno idêntico aqui sucedeu as águas das marés vivas na Ria de Aveiro conjuntamente com as da cheia do Vouga, invadiram a praça Dr. Joaquim de Melo Freitas, as ruas de João Mendonça, Mercadores e muitas outras e o rés-do-chão das casas nelas situadas (Figura 3.10). Ninguém esperava esta cheia em Aveiro, em virtude das obras de melhoramento da barra de Aveiro que se tinham realizado ultimamente.

Em Ílhavo não houve cheia motivada pela Ria, mas houve inundações causadas pelas chuvas torrenciais que caíram na noite de 19 e dia 20, pelo que as principais ruas da parte baixa da vila se transformaram em ribeiros impetuosos. Na parte central, as ruas e casas ficaram inundadas e o Jardim Público ficou transformado num lago.

### **Cheias de 1993**

Mais recentemente, no dia 16 de Outubro de 1993, ocorreu uma cheia que inundou toda a parte baixa da cidade, transbordando o Canal das Pirâmides, o Canal Central e o Canal de São Roque, e avançando para as ruas.

“A água que transbordou da Ria de Aveiro teve origem não apenas nas marés vivas que todos os anos se sentem, mas também nas fortes chuvas que durante alguns dias caíram. Segundo referiram os comerciantes locais, a água não entrou nos estabelecimentos de fora para dentro, mas sim, através das tampas de saneamento. Além das razões já apontadas para as cheias, Girão Pereira disse ainda estar o mau estado dos muros das marinhas e também o facto de naquela zona uma parte dos esgotos domésticos se encontrar ligada à rede de águas pluviais em vez de directamente ligados à rede colectiva de esgotos.” (Litoral, 1993).



## Capítulo 4 - Caracterização Pluviométrica

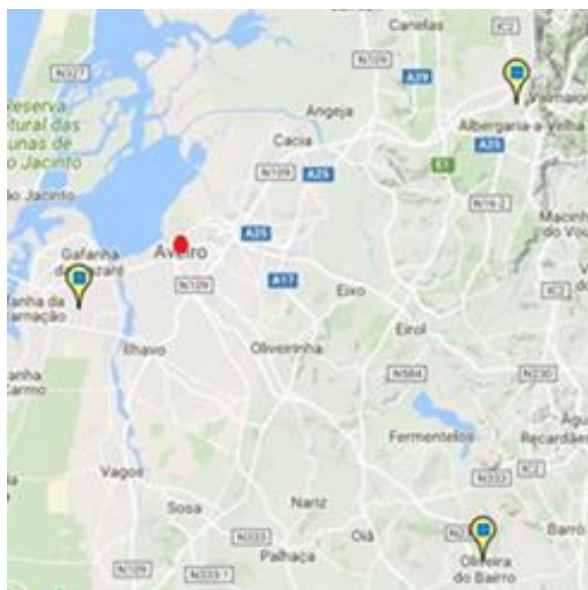
Para se fazer a caracterização dos regimes de precipitação na área de estudo foi realizada a identificação dos postos udométricos mais próximos das bacias hidrográficas em análise e procedeu-se ao tratamento estatístico dos dados registados por esses postos.

### 4.1 Postos Udométricos

Para proceder à selecção dos postos a utilizar neste estudo teve-se como critério a proximidade à zona de estudo de postos com mais de 30 anos de registos, de forma a obter uma amostra de dados de maior fiabilidade, tendo-se encontrado 3 postos que satisfaziam esse critério. Os 3 postos udométricos seleccionados foram:

- Albergaria-a-Velha [AV] (1931-2009) (Latitude 40,698oN; Longitude -8,482oW; Altitude 131 m)
- Gafanha da Nazaré [GN] (1950-2009) (Latitude 40,618oN; Longitude -8,706oW; Altitude 17 m)
- Oliveira do Bairro [OB] (1931-2009) (Latitude 40,520oN; Longitude -8,499oW; Altitude 65 m)

Os dados relativos a estes 3 postos udométricos foram retirados dos registos disponibilizados pelo Serviço Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH). Nos 3 postos, o índice de qualidade dos dados das séries anuais é superior a 12, o que traduz uma grande fiabilidade da informação disponibilizada. A Figura 4.1 apresenta a localização dos 3 postos udométricos seleccionados.



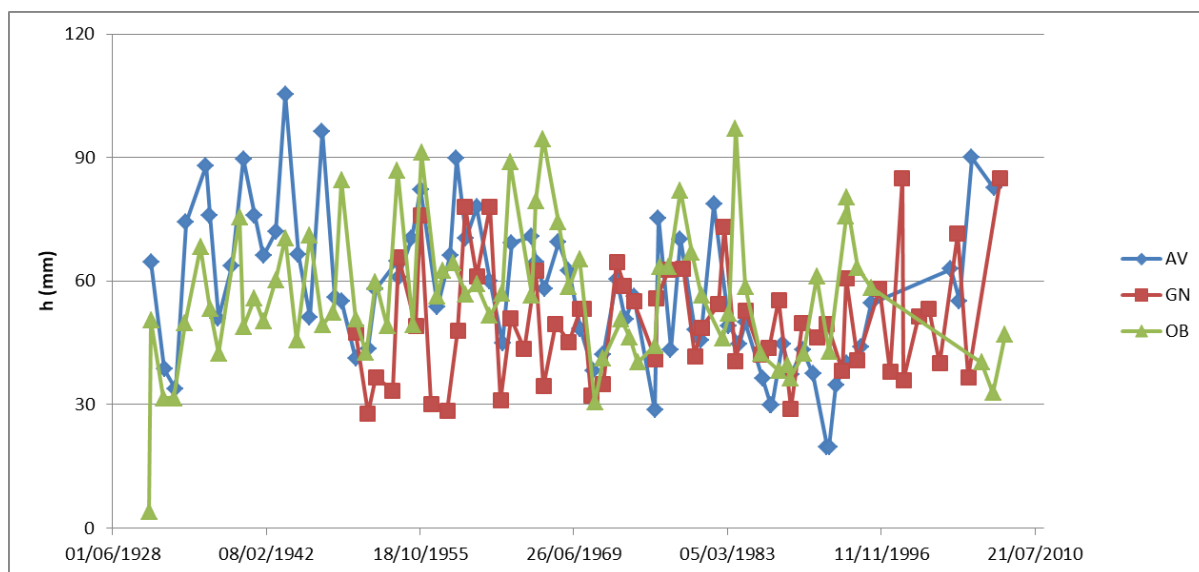
**Figura 4.1 - Postos udométricos seleccionados na região das bacias hidrográficas em estudo**

Observa-se que o posto da Gafanha da Nazaré é o que se encontra mais perto da região de Aveiro, mas para um maior nível de confiança foram também considerados os dados dos outros 2 postos, até por formarem geometricamente um triângulo no qual se insere a zona de estudo.

## 4.2 Precipitação diária

Ao analisar os dados relativos à precipitação diária máxima anual (Figura 4.2 e da Tabela 4.1), pode-se observar que:

- Em geral os valores da precipitação diária máxima anual variam entre os 30 e os 90 mm, existindo apenas algumas excepções pontuais;
- A precipitação diária máxima apenas ultrapassou os 90 mm em cinco anos (duas vezes no posto de Albergaria-a-Velha, nos dias 21/10/1943 e 03/02/1947; e três vezes no de Oliveira do Bairro, nos dias 13/12/1955, 04/10/1966 e 22/11/1983), com o maior valor registado a ocorrer no posto de Albergaria-a-Velha, com um valor de 105,4 mm.
- Para todos os postos udométricos seleccionados, o valor médio da precipitação diária máxima anual cingiu-se a um intervalo entre os 50 e 58 mm.



**Figura 4.2 - Precipitação diária máxima anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009)**

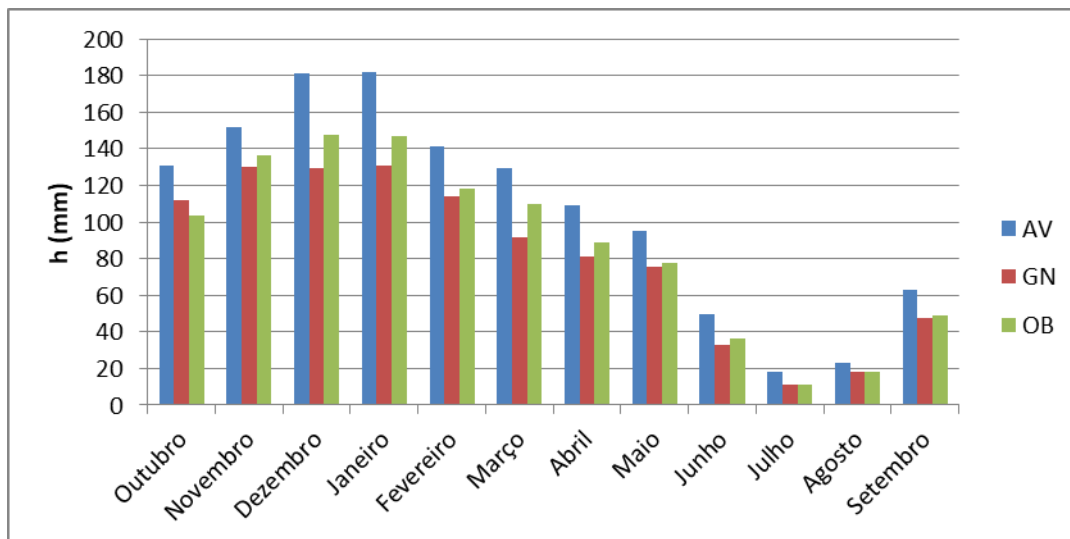
**Tabela 4.1 - Precipitação diária máxima anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009)**

	AV	GN	OB
<b>Número de registos</b>	71	57	69
<b>Precipitação diária máxima (mm)</b>	105,4	85,0	97,0
<b>Média da precipitação diária máxima anual (mm)</b>	57,7	50,4	56,4
<b>Desvio padrão (mm)</b>	18,5	14,5	17,1

### 4.3 Precipitação Mensal

Na Figura 4.3 são apresentados os valores da precipitação média mensal para todos os postos udométricos seleccionados. Através da sua análise pode-se observar que:

- De Outubro a Fevereiro todos os postos apresentam valores mensais superiores a 100 mm.
- Os valores vão depois progressivamente reduzindo até Julho (depois sobem ligeiramente), passando os postos udométricos a apresentar valores inferiores a 100 mm, nos meses de Março (posto da Gafanha da Nazaré), Abril (posto de Oliveira do Bairro) e Maio (posto de Albergaria-a-Velha).
- O posto de Albergaria-a-Velha apresenta sempre os valores mais altos, enquanto o da Gafanha da Nazaré é o que apresenta mais frequentemente os valores mais baixos.



**Figura 4.3 - Precipitação média mensal para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1950-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009)**

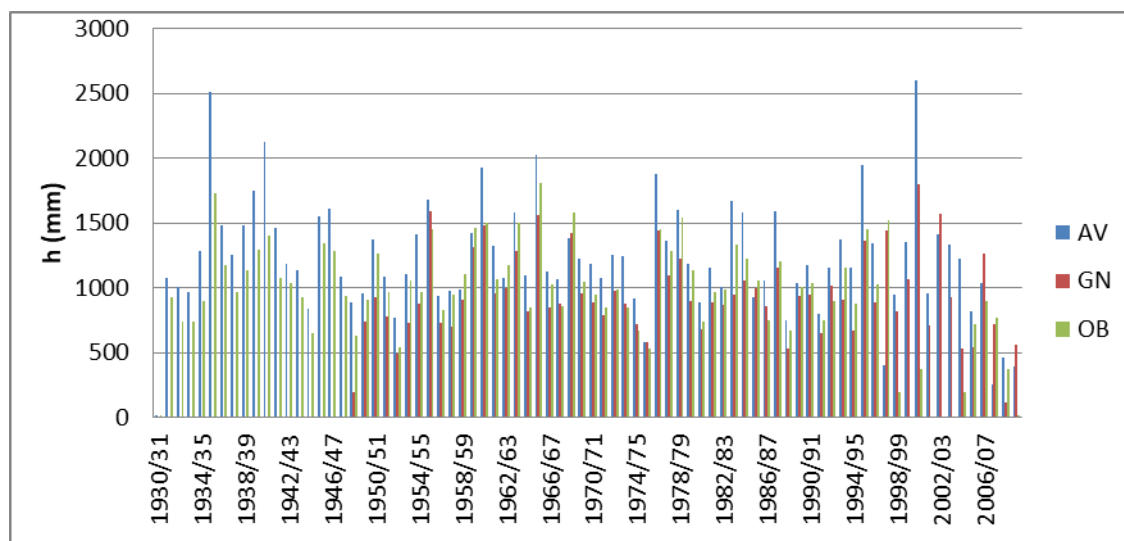
#### 4.4 Precipitação anual

A precipitação anual registada ao longo do ano hidrológico cresce com a altitude, com o posto de Albergaria-a-Velha (altitude 131 m) a apresentar os valores mais elevados, seguido do posto de Oliveira do Bairro (altitude 65 m) e por último o da Gafanha da Nazaré (altitude 17 m).

Ao observar a Figura 4.4 pode-se constatar que apenas por duas vezes os valores registados ultrapassaram os 2500 mm, tendo isso ocorrido no posto udométrico de Albergaria-a-Velha nos anos hidrológicos de 1935/36 (2512,2 mm) e 2000/01 (2598,5 mm).



A Tabela 4.2 apresenta o número de registos anuais em cada ponto, a precipitação máxima, mínima e média anual, bem como o respectivo desvio padrão.



**Figura 4.4 - Precipitação anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2007), Gafanha da Nazaré (1949-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009).**

**Tabela 4.2 - Precipitação anual para os postos udométricos de Albergaria-a-Velha (1931-2009), Gafanha da Nazaré (1949-2009) e Oliveira do Bairro (1931-2009)**

	AV	GN	OB
<b>Número de registos</b>	80	62	80
<b>Precipitação máxima anual (mm)</b>	2598,5	1795,5	1810,2
<b>Precipitação mínima anual (mm)</b>	16,4	119,1	14,6
<b>Precipitação média anual (mm)</b>	1217,5	937,2	990,2
<b>Desvio padrão (mm)</b>	440,6	329,1	364,4

#### **4.5 Relação entre precipitação e cheias**

No final deste capítulo são feitas considerações e comparações com o levantamento histórico dos eventos de cheia que ocorreram na zona urbana da cidade de Aveiro, realizado no capítulo 3. É observável que os meses de Inverno são o período do ano em que ocorre mais precipitação, o que é coerente com as cheias registadas no capítulo 3, que ocorreram com alguma frequência, por exemplo, no mês de Fevereiro dos respectivos anos.

Ao fazer a comparação entre as precipitações e os anos de cheias levantados na elaboração do historial, observou-se que há correspondências nos anos de ocorrência de fenómenos de cheia mais significativos, nomeadamente em 1937 e 1966.

Por outro lado, existe a indicação de grandes precipitações em anos onde não se obtiveram registos de cheia, no momento do levantamento histórico, sendo o caso mais evidente no ano de 2001. De acordo com a pesquisa efectuada, nomeadamente de notícias desse período, foram encontradas referências ao surgimento de inundações e respectivas consequências relativamente à cidade de Águeda, região que já não se enquadra na zona de estudo.

## Capítulo 5 - Caracterização Hidrográfica

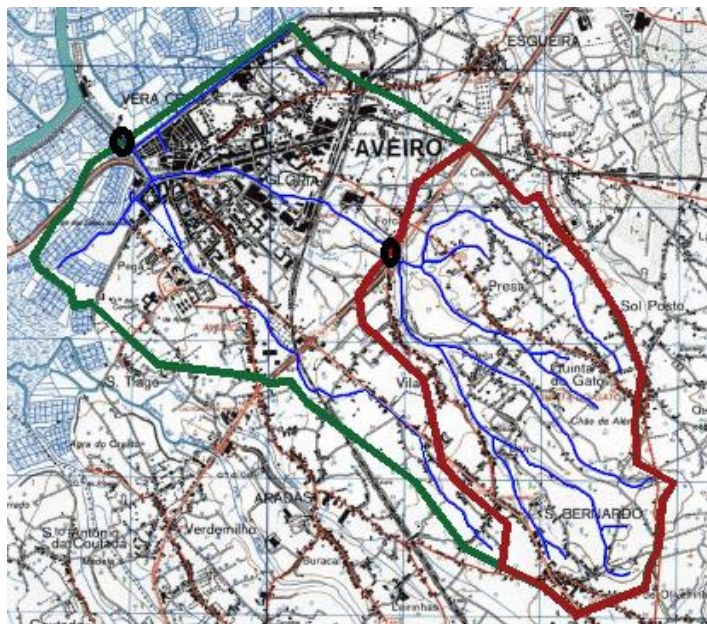
Neste capítulo é feito o estudo de duas bacias definidas para estimar os caudais de pico em linhas de água que escoam na zona urbana da cidade de Aveiro e poderão originar as principais cheias por falta de capacidade de drenagem de águas pluviais. É realizada a caracterização das bacias hidrográficas correspondentes a secções de linhas de água afluentes à Ria de Aveiro, tendo em conta as suas características geométricas, do seu sistema de drenagem e das características topográficas, geológicas e do uso do solo, tendo em conta as precipitações que ocorrem na região onde estão localizadas.

As bacias em estudo correspondem a uma secção (Bacia B) em específico, que inclui grande parte da linha de água principal da Bacia A, afluente do canal de São Roque. Para ambas as bacias é feita a comparação dos vários parâmetros que caracterizam o comportamento da bacia e consequentemente do escoamento nas linhas de água.

### 5.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica de um curso de água numa determinada secção é a área geográfica, que atendendo a sua topografia, contribui para o escoamento das águas, superficial ou subterrâneo, dessa secção. Para realização da delimitação das bacias hidrográficas em estudo foi utilizada a Carta Militar de Portugal - Folha nº185 (à escala 1/25000), do Instituto Geográfico do Exército. Foi traçada a linha divisória, baseada na topografia da área em estudo, que separa as linhas de água nela contida das bacias hidrográficas vizinhas, e sendo estabelecida a secção de saída do limite jusante. Por definição, esta linha atravessa os pontos mais altos da região em foco, não cortando nenhum curso de água.

Na carta representada na Figura 5.1 foi escolhida uma secção junto às comportas e ao canal de São Roque (que define a Bacia A) e uma secção mais a montante, caracterizando uma bacia de menor dimensão (Bacia B). Na Figura 5.1 pode-se visualizar o contorno que define a área das duas bacias. A Figura 5.2 mostra a secção mais a jusante da Bacia B.



**Figura 5.1 - Bacia Hidrográfica A (Verde) e B (Vermelho)**



**a) Vista da passagem hidráulica**



**b) Vista da linha de água**

**Figura 5.2 - Secção a jusante da Bacia Hidrográfica B**

## **5.2 Características Geométricas**

A bacia A apresenta uma área de  $9,9 \text{ km}^2$  e um comprimento máximo de aproximadamente  $5020 \text{ m}$ , enquanto a bacia B tem  $4,3 \text{ km}^2$  e um comprimento máximo de cerca de  $3079 \text{ m}$ . Na Tabela 5.1 é apresentado o resumo dos principais parâmetros geométricos que caracterizam as duas bacias em estudo.

**Tabela 5.1 - Características geométricas das bacias hidrográficas (A e B)**

	<b>Bacia A</b>	<b>Bacia B</b>
<b>Perímetro da bacia (m)</b>	13 686	8 991
<b>Largura média (m)</b>	1 773	1 319
<b>Área da bacia (m<sup>2</sup>)</b>	9 900 942	4 309 337
<b>Coefficiente de compacidade</b>	1,23	1,22
<b>Fator de forma</b>	0,32	0,40

A configuração de uma bacia hidrográfica no nível planimétrico tem uma grande influência no regime dos cursos de água, principalmente no que diz respeito aos caudais de cheia, tendo uma importância menor nos caudais de estiagem. Ambas as bacias apresentam uma forma aproximadamente rectangular, tendo no entanto também uma largura considerável (Figura 5.1).

O coeficiente de compacidade representa a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo com a mesma área da bacia. Uma bacia circular tem um coeficiente de compacidade igual a 1, o que significa que existe uma propensão para a concentração do escoamento com caudais de ponta superiores num menor período de tempo. Portanto, quanto menor for o valor deste coeficiente (aproximar-se de 1), maior será a propensão para cheias.

O fator de forma representa a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Para ambos os casos, são apresentados valores relativamente baixos, o que indica uma menor probabilidade de ocorrência de cheias. A ligeira diferença de valores nestes parâmetros indica que a bacia B está mais sujeita a eventuais cheias.

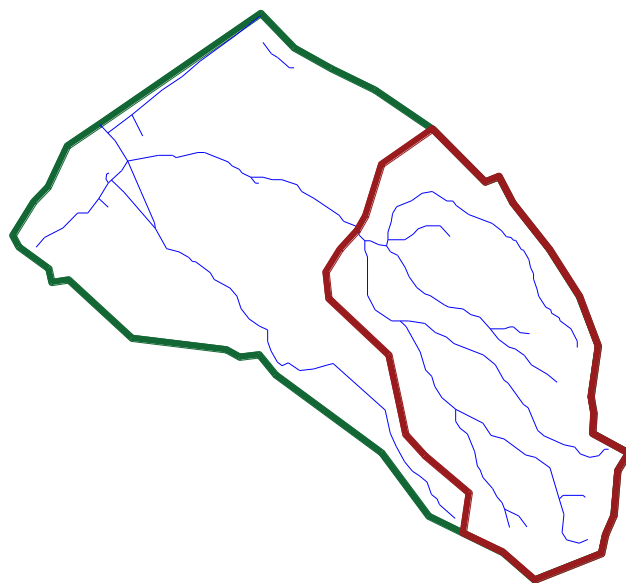
### 5.3 Características do Sistema de Drenagem

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores dos parâmetros relativos à caracterização do sistema de drenagem de ambas as bacias, como o comprimento total de linhas de água e o percurso médio de escoamento superficial. A densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total de linhas de água de uma bacia e a sua área, sendo perceptível na Figura 5.3 que será maior para a bacia B, dado que o elevado número de linhas de água acaba por se dispersar no total da área da bacia A.

**Tabela 5.2 - Características do sistema de drenagem das bacias hidrográficas (A e B)**

	<b>Bacia A</b>	<b>Bacia B</b>
<b>Comprimento de linha de água principal (m)</b>	5 585	3 268
<b>Comprimento total de linhas de água da bacia (m)</b>	21 957	11 868
<b>Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)</b>	2,22	2,75
<b>Percurso médio de escoamento superficial (m)</b>	112,7	90,8

As bacias apresentam um sistema de drenagem moderadamente denso, sendo superior para a bacia B, o que faz com que a probabilidade de cheia seja maior nessa zona. Por extensão o percurso médio do escoamento superficial acaba por ser mais longo para a bacia A, com a água da chuva a ter que percorrer (em linha recta) uma distância média de 112,7 metros, desde o ponto de queda até ao curso de água mais próximo.



**Figura 5.3 - Linhas de água das bacias hidrográficas em estudo**

## **5.4 Características do Relevo**

As características do relevo têm uma grande influência no comportamento hidrológico de uma bacia e por extensão no cálculo dos caudais de ponta. A cota do ponto mais baixo nas bacias em estudo é, respectivamente, de 2 e 4 metros, para a bacia A e para a bacia B. A cota do ponto mais alto é de 52 m para ambas as bacias.

As bacias apresentam índices de declividade baixos, o que indica que as velocidades do escoamento superficial serão relativamente baixas e como consequência as bacias terão uma menor propensão para caudais de ponta elevados. Notam-se valores superiores na bacia B. O índice de declividade global teve por base a construção do método dos rectângulos equivalentes, para representação de uma bacia rectangular, hidrologicamente semelhante à bacia em estudo. Os valores das características do relevo são apresentados na Tabela 5.3.

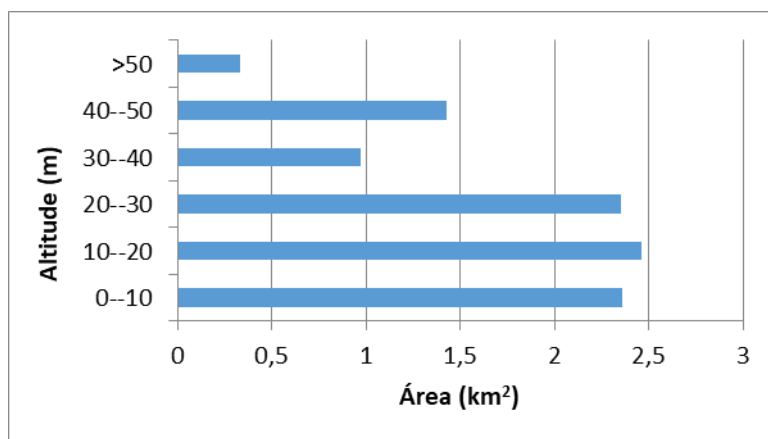
Os valores do coeficiente orográfico mostram que a delimitação da bacia B, com um valor cerca de 5 vezes superior ao da bacia A, tem um relevo mais acentuado.

**Tabela 5.3 - Características do relevo das bacias hidrográficas (A e B)**

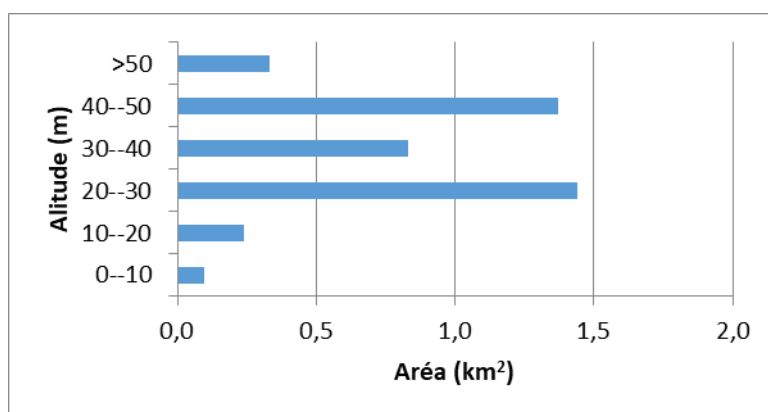
	<b>Bacia A</b>	<b>Bacia B</b>
<b>Cota máxima (m)</b>	52	52
<b>Cota mínima (m)</b>	2	4
<b>Altitude média (m)</b>	22,2	34,2
<b>Altura média (m)</b>	20,2	30,2
<b>Índice de declividade de Roche (%)</b>	1,03	1,53
<b>Índice de declividade global (%)</b>	0,93	1,26
<b>Coefficiente de massividade (m/km<sup>2</sup>)</b>	2,25	7,95
<b>Coefficiente orográfico (m<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>)</b>	49,98	272,37

Nas Figuras 5.4 e 5.5, são apresentadas as frequências altimétricas das duas bacias. É visível nos gráficos a diferença das características do relevo entre ambas, tendo a bacia A mais de 70% da área abaixo do da cota dos 30 m, fazendo com que a altitude média seja de 22,2 m. A bacia B, onde as linhas de água se iniciam, apresenta uma percentagem de área maior para os intervalos das curvas de nível das altitudes mais altas, quase 60%, levando a que a altitude média seja de 34,2 m, consideravelmente superior à da bacia A.



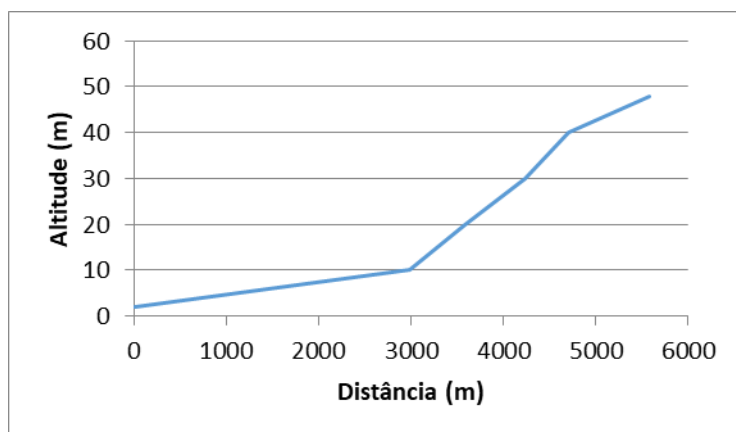


**Figura 5.4 - Frequências altimétricas da Bacia A**

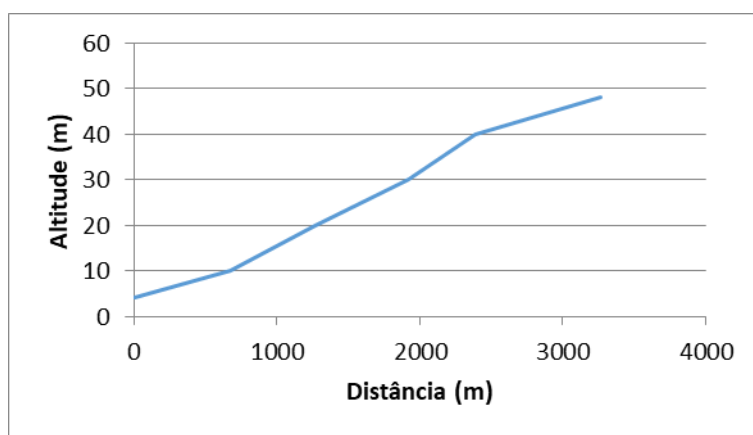


**Figura 5.5 - Frequências altimétricas da Bacia B**

Nas Figuras 5.6 e 5.7 são apresentados os perfis longitudinais da linha de água principal para ambas as bacias, notando-se que é o mesmo curso de água, mas limitado no comprimento, no que se refere à representação para a Bacia B. Por isso, ambos os perfis iniciam a uma altitude de 48 m, com um comprimento de 5585 m na bacia A e de 3268 m na bacia B. Ambos apresentam declives médios baixos, 0,82% para A e 1,34% para B.



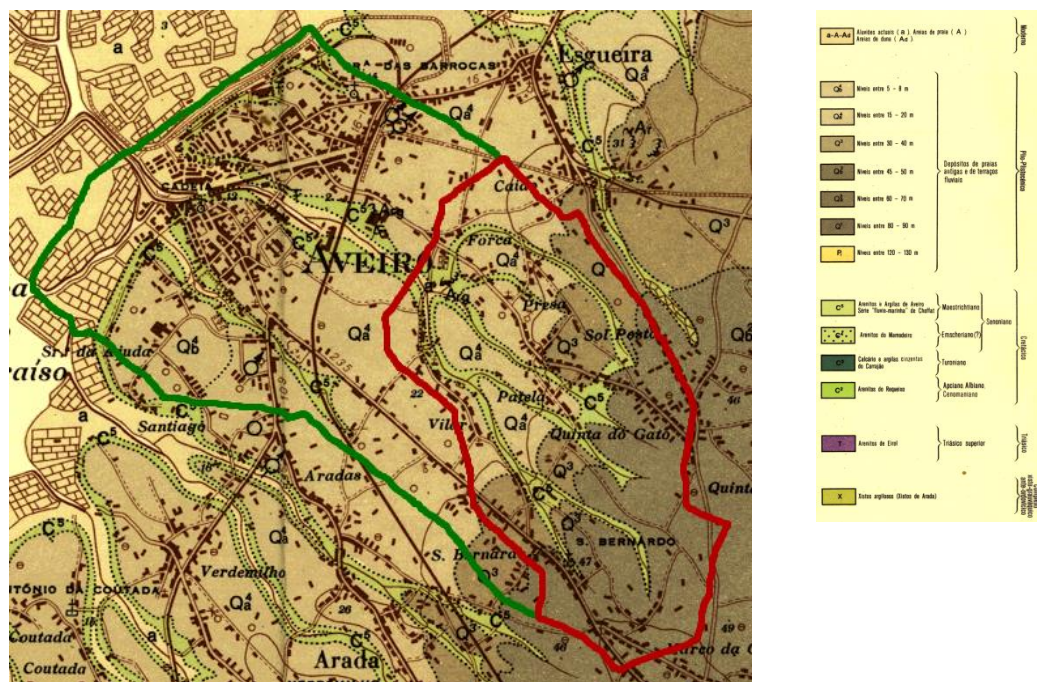
**Figura 5.6 - Perfil Longitudinal da principal linha de água das Bacia A e B**



**Figura 5.7 - Perfil Longitudinal da principal linha de água da Bacia B**

## 5.5 Características Geológicas

A Figura 5.8 corresponde a uma parte da Carta Geológica – folha nº16<sup>a</sup> – Aveiro (à escala 1:50000), da Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Os solos enquadrados nas áreas das bacias (A e B) são, de forma significativa, maioritariamente depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, existindo apenas uma pequena zona de aluviões atuais e solos de arenitos e argilas junto às linhas de água (Figura 5.8).



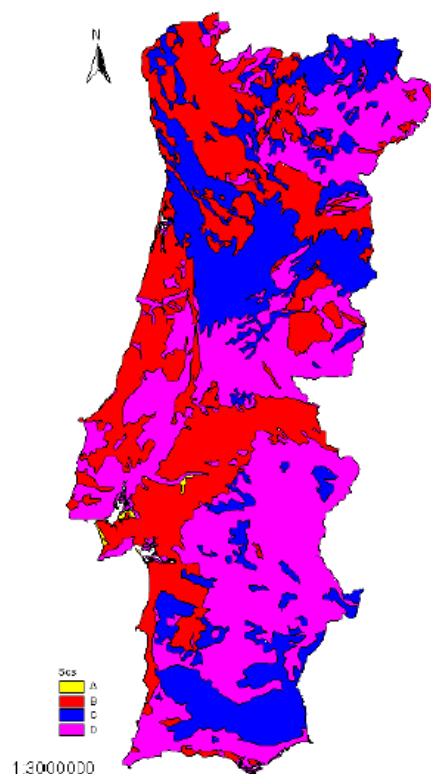
**Figura 5.8 - Caracterização geológica dos terrenos das bacias hidrográficas (Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos)**

Em termos gerais, os solos podem ser classificados (de acordo com SCS – Soil Conservation Service), do ponto de vista hidrológico, em quatro tipos diferentes:

- Tipo A (baixo potencial de escoamento superficial) – solos com elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos. Incluem principalmente areias profundas, com drenagem boa ou excessiva;
- Tipo B (potencial de escoamento superficial abaixo da média) – solos com intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira e medianamente drenados;
- Tipo C (potencial de escoamento superficial acima da média) – solos com baixas intensidades de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina;
- Tipo D (elevado potencial de escoamento superficial) – solos com intensidades de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente

solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.

Na Figura 5.9 são representados os vários tipos de solo conforme as várias regiões do país. Para a zona de Aveiro, onde a bacia em estudo se localiza, o tipo de solo pertence à classificação B. Assim, atendendo à localização do terreno e à sua geologia, conclui-se que as bacias hidrográficas em estudo se situam em terrenos de um solo de tipo B.



**Figura 5.9 - Classificação hidrológica dos solos para Portugal Continental (de acordo com SCS)**

## **5.6 Ocupação e Uso do Solo**

A caracterização da ocupação e uso do solo dos terrenos das bacias hidrográficas permite analisar o comportamento hidrográfico destas, através da distinção das áreas impermeabilizadas e permeáveis. Com a existência de vegetação, a velocidade do escoamento superficial será menor, reduzindo os fenómenos de erosão e promovendo a infiltração. Isto faz com que os solos com uma cobertura vegetal significativa ajudem a reduzir a ocorrência de grandes cheias, e por outro lado, a aumentar as reservas subterrâneas.

Na área exclusiva à bacia A, encontra-se o centro da cidade, ou seja, existe uma predominância de solos artificializados e impermeabilizados. A bacia B está situada numa zona periférica à cidade, existindo uma maior proliferação de terrenos agrícolas e mais permeáveis (ver Figura 5.10).



Figura 5.10 - Ocupação do solo das bacias hidrográficas (Google Earth)

## 5.7 Tempo de Concentração

O tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída, ou o tempo necessário para que uma gota caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída. Este tempo é uma característica da bacia, independente das características das chuvadas (Lencastre e Franco, 1992). O tempo de concentração permite fazer a estimativa dos caudais de cheia, dado que só para chuvadas de duração igual (ou superior) é que a área da bacia na sua totalidade participa, de forma simultânea, no escoamento superficial da secção.

Existem várias fórmulas para calcular o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica (Lencastre e Franco, 1992). Foram utilizados os seguintes métodos:

- Fórmula de Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} - 1,5 L}{0,80\sqrt{H}} \quad 5.1$$

$t_c$  – tempo de concentração (horas)

A – área da bacia (km<sup>2</sup>)

L – comprimento da linha de água principal (km)

H – altura média da bacia, medida a partir da cota da secção em estudo (m)

▪ Fórmula de Kirpich

$$t_c = 0,0663 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad 5.2$$

$$t_c = 0,0663 \frac{L^{1,155}}{\Delta Z^{0,385}} \quad 5.3$$

S – declive médio do rio principal (m/m)

$\Delta Z$  – diferença de cotas entre as extremidades do rio principal (expressa em metros)

▪ Fórmula de Temez

$$t_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76} \quad 5.4$$

S – declive médio da linha de água principal (%)

▪ Fórmula de David

$$t_c = 0,000324 \frac{L^{1,15}}{(\Delta h)^{0,38}} \quad 5.5$$

L – comprimento da linha de água principal (m)

$\Delta h$  – diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (m)

- Fórmula de Ven Te Chow

$$t_c = 0,8773 \left( \frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0,64} \quad 5.6$$

i – declive médio da linha de água principal (m/km)

Na Tabela 5.4 são apresentadas as estimativas do tempo de concentração, obtidas através da aplicação das fórmulas 01 a 06.

**Tabela 5.4 - Tempos de concentração (em horas) das bacias hidrográficas**

	<b>t<sub>c</sub> (horas)</b>	
	<b>Bacia A</b>	<b>Bacia B</b>
<b>Giandotti</b>	5,19	2,82
<b>Kirpich (02)</b>	1,58	0, 87
<b>Kirpich (03)</b>	0,11	0,06
<b>Temez</b>	2,76	1,67
<b>David</b>	1,54	1,16
<b>Ven Te Chow</b>	1,34	0,81

Tendo em consideração as características da bacia, como a sua geometria, densidade de drenagem, o seu relevo, foram analisados os resultados obtidos de forma a tentar

encontrar um tempo de concentração que melhor represente as bacias, para ser posteriormente utilizado no cálculo de estimativa dos caudais de ponta de cheia.

Para a bacia A, num primeiro momento foram excluídos os valores extremos (Giandotti e Kirpich 03) devido ao elevado desfasamento destes resultados com os outros valores. Para a bacia A, a média obtida sem os valores extremos foi de 1,81 horas, um valor superior a 3 dos resultados considerados, optando-se, por isso, por excluir também o resultado determinado pela fórmula de Temez, fazendo-se a média com as 3 restantes metodologias. A média obtida, considerando apenas os 3 valores mais próximos, foi de 1,49 horas, decidindo-se por isso por adoptar um tempo de concentração representativo da bacia A de 1,5 horas.

Relativamente à bacia B, atendendo aos resultados obtidos, seguiu-se o mesmo processo, considerando-se para a média final os 3 valores mais próximos (Kirpich 02, David, Ven Te Chow). O resultado foi de 0,95 horas, adoptando-se um tempo de concentração de 1 hora, para representar a bacia B.

De salientar que tempos de concentração menores resultarão em maiores caudais de ponta, pelo que a adopção de um valor mais baixo aumenta a estimativa dos valores de caudais de ponta de cheia nas bacias das áreas em estudo.

## **5.8 Curvas de intensidade-duração-frequência**

As curvas IDF determinam, para um dado posto udométrico, a relação entre a intensidade de precipitação e a duração associada a um período de retorno (ou probabilidade de não exceder):

$$I = at^b \quad 5.7$$

t – tempo (minutos)

I – intensidade de precipitação (mm/h)

Os parâmetros a e b dependem do período de retorno e da localização da bacia. Para as bacias hidrográficas em estudo utilizaram-se os valores apresentados na Tabela 5.5 (Brandão *et al.*, 2001)



**Tabela 5.5 - Parâmetros a e b das curvas IDF na área de estudo, para os diferentes períodos de retorno**

<b>Período de retorno (anos)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>2</b>	253,70	-0,654
<b>5</b>	361,63	-0,683
<b>10</b>	435,95	-0,697
<b>20</b>	508,78	-0,707
<b>50</b>	604,76	-0,718
<b>100</b>	677,67	-0,725

## 5.9 Caudais

As cheias são fenômenos naturais cujo comportamento e processos hidrológicos associados devem ser estudados e analisados, para se poderem encontrar as melhores estratégias de reduzir os riscos das suas ocorrências e mitigar os seus efeitos negativos.

Existem 3 tipos de abordagens para determinar os caudais de ponta:

- Fórmulas empíricas, baseadas a partir da experiência, tendo em conta a área da bacia hidrográfica, sem associarem os resultados a probabilidades de ocorrência;
- Fórmulas cinemáticas, que têm em atenção as características do movimento da água na bacia hidrográfica, como o tempo de concentração e a chuvada (chuvada que origina o maior caudal de ponta para um dado período);

- Métodos estatísticos, aplicados ao registos efectuados ao longo do tempo, para a partir daí tentar estimar o comportamento futuro.

Neste trabalho, não se obtiveram medições, pelo que não se procede ao cálculo de caudais de ponta com base nos métodos estatísticos. Da mesma forma, também não se utilizam os métodos empíricos, por não associarem o resultado a uma probabilidade de ocorrência.

As fórmulas cinemáticas permitem associar um período de retorno a cada valor de caudal estimado. Existem diversos métodos neste grupo de abordagem para estimar os caudais de ponta de cheia, pelo que, a projecção num determinado espaço temporal do máximo valor do caudal que irá afluir ao local é complexa, dependendo de vários parâmetros cuja definição está no campo da subjectividade.

Foram escolhidas 3 formulações para estimar o comportamento das bacias hidrográficas em estudo:

- Fórmula Racional

É a metodologia mais utilizada a nível mundial para determinar o caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas pequenas. Em Portugal é utilizada para bacias com áreas inferiores a 25 km<sup>2</sup> (Lencastre e Franco, 1992).

Para fazer a caracterização de ocupação e uso de solo foi considerado o coeficiente de escoamento  $c$  igual a 0,2, quer para a bacia A, quer para a bacia B. Este valor corresponde a alguma impermeabilização dos solos e uso agrícola. A intensidade média de precipitação foi determinada considerando uma precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia, de 1,5 h para a bacia A e 1,0 h para a bacia B.

$$Q_p = c \ i \ A \quad 5.8$$

$c$  – coeficiente de escoamento, baseado nas características da superfície de terreno, admitidas constantes para toda a bacia (adimensional)

$i$  – intensidade média correspondente ao valor máximo de precipitação para determinada frequência de ocorrência, com duração igual ao tempo de concentração da bacia

$A$  – área da bacia

- Fórmula do Soil Conservation Service (SCS)

$$Q_p = \frac{0,277 k A h_u}{t_p} \quad 5.9$$

A – área da bacia (km<sup>2</sup>)

k – factor de ponta, depende da declividade da bacia

$h_u$  – altura útil (mm)

$t_p$  – tempo de ponta (horas)

$$h_u = \frac{(h - h_0)^2}{h + 4h_0} \quad 5.10$$

se  $h > h_0$

$$h_u = 0 \quad 5.11$$

se  $h \leq h_0$

$h_0$  – perdas iniciais da chuvada, antes de se iniciar o escoamento de superfície (mm)

$$h_0 = \frac{5080}{N} - 50,8 \quad 5.12$$

N – número do escoamento (dependente do tipo hidrológico do solo, uso do solo e das condições de superfície)

Considerou-se que o valor de k que representa a área em estudo é o habitual de 0,75. O N adoptado foi de 85 (valor indicado para zonas residenciais com áreas inferiores a 500 m<sup>2</sup>, na tabela relativa a zonas urbanas e suburbanas).

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + 0,6 t_c \quad 5.13$$

$t_c$  – tempo de concentração da bacia (horas)

$t_r$  – tempo de duração da precipitação útil (horas)

$$t_r = t - \frac{h_0}{i} \quad 5.14$$

$$i = \frac{h(t)}{t} \quad 5.15$$

▪ **Fórmula Mockus**

Este método é utilizado para bacias com tempo de concentração inferior a 4 horas, o que é caso das bacias em estudo. O valor de k admitido foi, tal como no método SCS, o valor habitual de 0,75.

$$Q_p = \frac{0,277 k A h_u}{\sqrt{t_c} + 0,6t_c} \quad 5.16$$

### **5.9.1 Resumo dos caudais de ponta**

É feito um resumo dos resultados nas Tabelas 5.6 e 5.7, sendo apresentada a estimativa dos caudais de ponta em função do período de retorno, ou seja, das diferentes probabilidades de ocorrência, através das 3 fórmulas cinemáticas consideradas adequadas, bem como a média resultante da aplicação dos 3 métodos.

**Tabela 5.6 - Caudais de ponta (m<sup>3</sup>/s) da bacia A**

<b>Período de retorno (anos)</b>	<b>Bacia A</b>			
	<b>Racional</b>	<b>SCS</b>	<b>Mockus</b>	<b>Média</b>
<b>2</b>	7,36	5,39	5,14	<b>5,96</b>
<b>5</b>	9,20	7,89	7,83	<b>8,31</b>
<b>10</b>	10,42	9,82	9,82	<b>10,02</b>
<b>20</b>	11,62	11,96	11,95	<b>11,84</b>
<b>50</b>	13,15	14,91	14,82	<b>14,29</b>
<b>100</b>	14,27	17,26	17,04	<b>16,19</b>

**Tabela 5.7 - Caudais de ponta (m<sup>3</sup>/s) da bacia B**

<b>Período de retorno (anos)</b>	<b>Bacia B</b>			
	<b>Racional</b>	<b>SCS</b>	<b>Mockus</b>	<b>Média</b>
<b>2</b>	4,16	2,63	2,54	<b>3,11</b>
<b>5</b>	5,27	3,96	3,96	<b>4,40</b>
<b>10</b>	6,00	5,01	5,01	<b>5,34</b>
<b>20</b>	6,72	6,18	6,15	<b>6,35</b>
<b>50</b>	7,64	7,82	7,69	<b>7,72</b>
<b>100</b>	8,32	9,13	8,89	<b>8,78</b>

Os valores obtidos pela fórmula racional são os mais elevados para os períodos de retorno mais baixos, com a diferença a esbater-se com o aumentar do período de retorno, até eventualmente serem ultrapassados pelos das outras duas metodologias. Os resultados das fórmulas SCS e de Mockus são bastante aproximados entre si, sendo o primeiro ligeiramente superior, reflectindo a semelhança dos pressupostos em que se baseiam.

Foi considerado que os valores resultantes da média das 3 formulações são representativos das bacias hidrográficas em estudo, estimando esses valores como os caudais máximos esperados para cada uma das bacias.

## **Capítulo 6 - Mapas actuais e critérios para a sua definição**

Neste capítulo são apresentados algumas propostas de mapas de delimitação do risco de cheia na região de Aveiro, elaborados por diferentes entidades, procurando-se analisar os critérios utilizados para a sua definição.

Como referido anteriormente, a Directiva 2007/60/CE, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, estabelece que os Estados-Membro devem elaborar cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundações indicativas das potenciais consequências prejudiciais associadas a diferentes cenários de inundações, de modo a disporem de um instrumento de informação eficaz, bem como de uma base para estabelecer prioridades e para tomar decisões técnicas, financeiras e políticas em matéria de gestão de riscos de inundações. De acordo com a Directiva 2007/60/CE:

Inundação consiste na cobertura temporária por água de um terreno normalmente não coberto por água. Inclui as cheias ocasionadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água efémeros mediterrânicos, e as inundações ocasionadas pelo mar nas zonas costeiras, e pode excluir as inundações com origem em redes de esgotos; e

Risco de inundação corresponde à combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas.

As zonas inundadas a delimitar no âmbito do presente trabalho consistem maioritariamente em zonas de inundação associadas apenas a cheias fluviais. No entanto, nas zonas em que os níveis de inundação são condicionados pelas marés, tem-se em conta a respectiva influência.

A elaboração de cartografia de risco de inundação pressupõe, além da delimitação das zonas de inundação, a avaliação das potenciais consequências da mesma, no que diz respeito aos danos humanos, ao património, à actividade económica e ao ambiente.

### **6.1 SNIRH / Agência do Ambiente**

A Diretiva 2007/60/CE, de 23 de outubro, transposta para o direito nacional pelo Decreto-lei n.º 115/2010, de 22 outubro, tem por objetivo estabelecer um quadro para a avaliação

e gestão dos riscos de inundações, a fim de reduzir as suas consequências na saúde humana, no ambiente, no património cultural e nas atividades económicas. As tarefas associadas à implementação desta Diretiva incluem:

- Efetuar a avaliação preliminar de riscos de inundações;
- Propor as zonas de riscos potenciais significativos de inundações;
- Elaborar as cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e as cartas de risco de inundações;
- Elaborar e implementar os planos de gestão de riscos de inundações.

Na sequência do Decreto-lei foi criada a Comissão Nacional da Gestão dos Riscos de Inundações (CNGRI), constituída pela Agência Portuguesa do Ambiente, que preside, Autoridade Nacional da Proteção Civil, Direcção-Geral do Território, Região Autónoma da Madeira, Região Autónoma dos Açores, Associação Nacional de Municípios Portugueses. A seleção das zonas a mapear foi efetuada tendo em consideração os estudos de base da década anterior à Diretiva 2007/60/CE, bem como a compilação da informação sobre a ocorrência de inundações e suas consequências, recolhida por diferentes organismos. Foram identificadas 22 zonas no continente, 5 zonas na Região Autónoma dos Açores e 27 zonas na Região Autónoma da Madeira.

A disponibilização destas cartas permite conhecer a probabilidade de inundação e respectivo risco a que estão sujeitas as habitações, atividades económicas, património e ambiente, quando inseridas ou a inserir nas áreas identificadas nesta cartografia (SNIAmb - Sistema Nacional de Informação Ambiente, SNIRH).





**Figura 6.1 - Zonas inundáveis de acordo com SNIAmb**

Assim foi feita a delimitação das zonas de inundação para as áreas em estudo, assim como a análise da altura e velocidade do escoamento máximos em caso de inundação. Foram assim elaboradas Cartas de Zonas Inundáveis para períodos de retorno de 20, 100 e 1000 anos.

Nestas cartas encontram-se também identificadas as vias de comunicação potencialmente afectadas, assim como as estações meteorológicas e hidrométricas incluídas no Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos (SVARH). Nas cartas à escala 1:10 000 ou superior encontra-se representada a rede hidrográfica local.

No estudo apresentado pelo SNIRH, a análise de riscos foi efectuada recorrendo a uma matriz de risco que, no essencial, fundamenta a classificação do risco em classes por intermédio da avaliação prévia da perigosidade de inundações e das respectivas consequências. Todo o processo de análise de informação para determinação do risco de inundação foi efectuado com recurso a um sistema de informação geográfica (*software* ArcGis 9.3.1).

A perigosidade das inundações caracteriza o perigo de um determinado evento de cheia e consequente inundação se fazer sentir numa dada zona, reflectindo a severidade das inundações e da sua capacidade de causar danos efectivos. A avaliação da perigosidade

teve por base a modelação hidrológica e hidráulica das cheias, para os três períodos de retorno analisados: 20, 100 e 1000 anos, aos quais correspondem probabilidades de ocorrência que se classificam como elevada, média e baixa, respectivamente. Deste modo, são analisados os três cenários de inundação previstos no Decreto-lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro.

Para o desenvolvimento das cartas das zonas inundáveis para os diferentes períodos de retorno através da modelação hidráulica, foram considerados os efeitos resultantes dos caudais de cheia das principais linhas de água afluentes à Ria de Aveiro, embora tendo admitido que a maré oceânica é a principal responsável pela dinâmica da Ria.

Os caudais de ponta dos restantes afluentes à Ria de Aveiro foram determinados, através da utilização de formas regionais do tipo  $Q=C.A^n$ , tendo por base a análise estatística de registos de caudais instantâneos máximos anuais em 12 estações hidrométricas localizadas nas respectivas bacias hidrográficas. As fórmulas utilizadas no estudo efectuado foram, para os três períodos de retorno em análise, as seguintes:

- $T=20$  anos –  $Q=5,356.A^{0,699}$
- $T=100$  anos –  $Q=7,618.A^{0,693}$
- $T=1000$  anos –  $Q=10,707.A^{0,690}$

Assim, com a utilização destas fórmulas chegaram-se aos seguintes caudais de ponta de cheia para os restantes afluentes à Ria, ver Tabela 6.1.

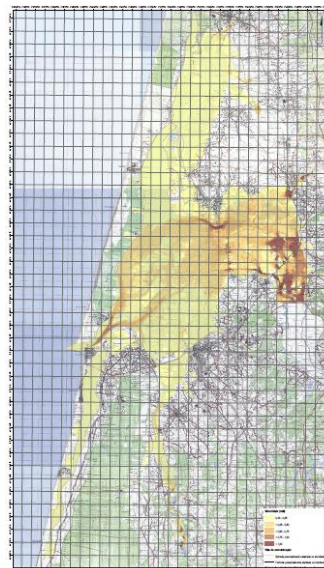
**Tabela 6.1 - Tabelas dos caudais de ponta para os afluentes à Ria de Aveiro**

Rio	A (km <sup>2</sup> )	Caudal de ponta de cheia (m <sup>3</sup> /s)		
		T=20 anos	T=100 anos	T=1000 anos
Antuã	150	180	250	340
Boco	102	140	190	260
Cáster	86	120	170	230
Esteiro de Canela	57	90	125	180
Gonde	46	80	110	150
Fontela	23	50	70	95

Através destes caudais desenvolveram-se os seguintes mapas de representação de zonas inundáveis para os diferentes períodos de retorno.



**Figura 6.2 - Mapa de zonas inundáveis para o período de retorno de 20 anos tendo em conta a profundidade**



**Figura 6.3 - Mapa da velocidade de escoamento (em m/s) para o período de retorno de 20 anos.**

## **6.2 ADAPTARia**

Em 2008 foi elaborada a proposta do projecto ADAPTARia, que teve como principais objectivos a avaliação do risco de cheia na Ria de Aveiro, bem como a evolução da linha da costa no trecho costeiro Esmoriz-Mira, sendo posteriormente realizada a definição de estratégias de adaptação e mitigação, que tiveram por base os resultados obtidos nas tarefas anteriores do projecto e as características da área de estudo.

Esta proposta foca-se portanto numa área de estudo superior aquela que foi considerada na abordagem feita no capítulo 3 desta dissertação, exclusivamente focada na área urbana, enquanto o projecto ADAPTARia também se debruça, por exemplo, na zona lagunar da Ria de Aveiro.

Este projecto também avalia a influência de vários agentes forçadores de cheias, como os ventos, a precipitação, a pressão atmosférica, o regime de agitação marítima, caudais fluviais e nível do mar, sendo então estipulados e analisados vários cenários.

Parte significativa dos fenómenos de cheia ocorre em condições climáticas adversas: chuvas torrenciais com aumento dos caudais fluviais; baixas pressões a N/NW de Portugal e de altas pressões a S/SW, associadas a ventos fortes de sul, que originam sobre-elevações do nível do mar (marés meteorológicas).

Os maiores níveis de água associados às marés vivas equinociais têm também impactos na ocorrência e extensão das inundações, bem como a evolução do nível médio do mar e a variação morfológica dos canais da Ria de Aveiro, que depende da sua evolução natural e das ações antropogénicas.

### **6.2.1 Caudais fluviais e elevação do nível do mar**

Na Ria de Aveiro ocorrem inundações quando o nível do mar é elevado, quando o caudal dos seus afluentes é elevado ou por ação simultânea de ambos. A determinação da intensidade e periodicidade de caudais fluviais foi efetuada a partir da análise estatística de series temporais de caudal fluvial dos cinco principais afluentes da Ria de Aveiro (Vouga, Antuã, Cáster, Boco e Ribeira dos Moinhos). O nível do mar (nível médio, maré astronómica e maré meteorológica) foi caracterizado a partir da análise da elevação da superfície livre observada no marégrafo da Barra, localizado na embocadura da laguna.

Adicionalmente investigaram-se alterações do nível médio do mar, da maré meteorológica e do caudal fluvial num contexto de alterações climáticas. Não há evidências de alterações da maré astronómica na costa portuguesa motivadas pelas alterações climáticas, pelo que o projecto ADAPTARia não fez a sua análise neste contexto (Tabelas 6.1 e 6.2).

**Tabela 6.2 - Altura da maré meteorológica para os períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos**

	<b>2 anos</b>	<b>10 anos</b>	<b>100 anos</b>
<b>Altura (m)</b>	0,58	0,84	1,17

**Tabela 6.3 - Número, duração e intensidade média de eventos de maré meteorológica simulados pelos modelos CCSM3 e ECHAM5 para a região costeira de Aveiro, para os climas atual e futuro**

	<b>Número</b>		<b>Duração (horas)</b>		<b>Intensidade</b>	
	<b>Clima Atual</b>	<b>Clima Futuro</b>	<b>Clima Atual</b>	<b>Clima Futuro</b>	<b>Clima Atual</b>	<b>Clima Futuro</b>
<b>CCSM3</b>	61	74	12,78	13,05	4,10	4,10
<b>ECHAM 5</b>	47	51	15,45	15,27	3,90	3,95

## 6.2.2 Cartas globais de vulnerabilidade [e risco]

### Abordagem Metodológica

O projecto ADAPTARia desenvolveu três cenários integrados, que decorreram da combinação dos agentes forçadores de inundação marginal lagunar e de recuo da linha de costa: nível médio do mar; maré astronómica; maré meteorológica; caudal fluvial e agitação marítima.

A análise do risco de cheia, neste projeto integra tanto a vertente social e económica, como a vertente ecológica do território, e é determinado em função do grau de probabilidade de ocorrência de um evento e do grau de vulnerabilidade do território afetado. Neste contexto, a espacialização do risco de cheia e de recuo da linha de costa

resulta da sobreposição das cartas de probabilidade e vulnerabilidade. Isto significa que o risco é superior nos territórios que, tendo sido identificados com grau elevado de probabilidade de ocorrência, também apresentam características que os tornam mais vulneráveis (adaptado de ANPC, 2009).

O resultado dos pressupostos anteriores resultou nos seguintes mapas de extensão de cheia e probabilidade de ocorrência (FIGURA 6.2).



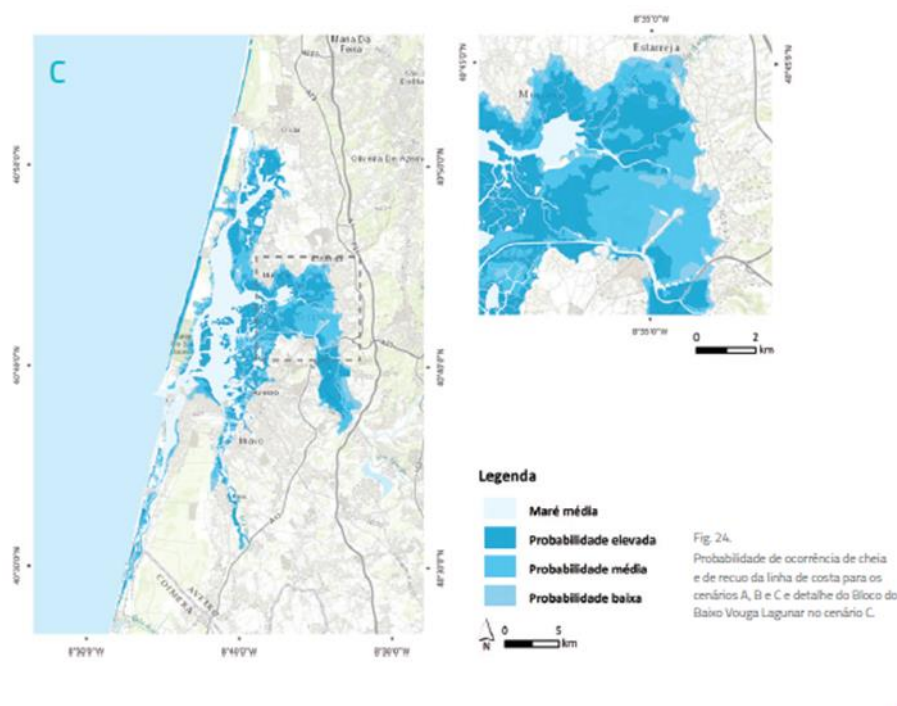
**Figura 6.4 - Extensão máxima de cheia para o ADAPTARia no cenário C**

A probabilidade de ocorrência de cheia para a zona lagunar teve por base os períodos de retorno dos caudais fluviais e das marés meteorológicas. Considerou-se probabilidade elevada para períodos de retorno de 2 anos, probabilidade media para 10 anos e probabilidade baixa para 100 anos. Entende-se por período de retorno o tempo médio, em anos, em que um evento é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para a zona costeira, assumiu-se que os maiores recuos têm menor probabilidade de ser atingidos, pois obrigam a uma evolução mais prolongada no tempo. Assim, considerou-se que a linha de costa em 2040 terá uma probabilidade elevada de ser atingida, em 2070 uma probabilidade media e em 2100 uma probabilidade baixa (Figura 6.3).

A vulnerabilidade a cheia é entendida como as características de um território, que o tornam susceptível a degradação ou dano causado por um evento de cheia e/ou pelo recuo da linha de costa (Barroca *et al.*, 2006; UNISDR, 2009). Tendo em consideração a escala geográfica de análise e os resultados obtidos nos diferentes exercícios de modelação, definiu-se uma correspondência entre o grau de vulnerabilidade e as classes de uso do

solo do CORINE Land Cover 2006 (Caetano *et al.*, 2009). Assumiu-se como vulnerabilidade:

- elevada - as zonas artificializadas inundadas, incluindo tecido urbano; zonas industriais, comerciais ou de transportes; e áreas em construção;
- moderada - as zonas agrícolas, florestais e seminaturais potencialmente sujeitas a inundações por água salgada, e sempre que a linha de costa alcança as zonas húmidas litorais;
- baixa - as zonas agrícolas, florestais e seminaturais potencialmente sujeitas a inundações por água doce (assumindo que o efeito da água salgada se faz sentir de modo diferenciado na área do Bloco do Baixo Vouga Lagunar);
- residual - as zonas húmidas e corpos de água.



**Figura 6.5 - Mapa de probabilidade de ocorrência do ADAPTARia**

### 6.3 SECUR-RIA e Câmara Municipal de Aveiro

O objectivo do Projecto SECUR-Ria – Segurança na Região da Ria de Aveiro, foi dotar os 11 municípios e a AMRia de planos de risco e segurança. Através da criação duma base de dados georreferenciada que permite assim avaliar as situações de risco e as zonas onde incidem, bem como a localização de recursos e sistemas de segurança e de resposta a situações de emergência. Em conjunto com a Proteção Civil e com o Programa Aveiro Digital 2003-2006, criado para promover uma melhor divulgação da informação utilizando para isso a internet, o acesso *on-line* aos planos e cartas municipais de segurança e emergência torna-se possível.

Os planos municipais de emergência são considerados de grande importância, até devido à instabilidade climática que afecta Portugal, e que terá tendência agravar com as alterações climáticas. Surge assim uma certa indefinição quanto às épocas normais de chuvas intensas e passa a ser necessária a melhor articulação entre os riscos climáticos e os riscos hidrológicos e os de inundação, para além da consideração de vários elementos naturais (permeabilidade dos solos, declives e características da cobertura vegetal), e humanos (barragens e ocupação dos solos). No caso do Município de Aveiro estão igualmente relacionados com os riscos de erosão marinha e com riscos de sedimentação.

A metodologia adotada para a elaboração da Carta de Risco de Cheia (zonas inundáveis) concentrou-se na recolha e análise de informação sobre cheias, nomeadamente na seleção de áreas com maior vulnerabilidade à ocorrência de cheias e inventariação de marcas de cheia e áreas inundadas.

Na Figura 6.6, é apresentado exemplo de uma carta do risco de cheias do município de Aveiro.

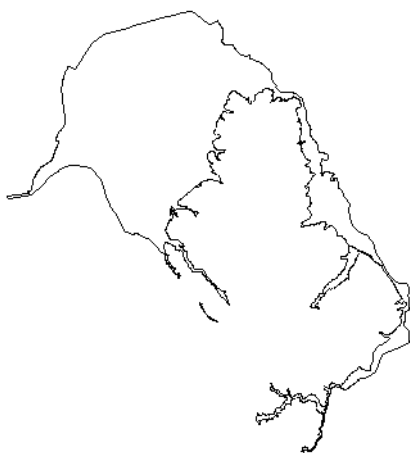




**Figura 6.6 - Zona de cheia no município de Aveiro**

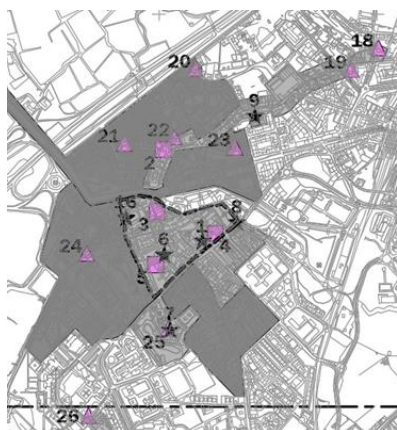
A Câmara Municipal de Aveiro possui vários mapas das zonas inundáveis, vulnerabilidade e risco. Possuem também um mapa com o património arqueológico e edificado, o que condiciona as zonas da sua localização a serem consideradas áreas mais vulnerável, dada a importância da sua preservação, proteção e manutenção.

Quando comparada com o mapa de zonas inundáveis aos dispor da Câmara Municipal de Aveiro, ver Figura 6.7, verifica-se existir correspondência entre as zonas inundáveis definidas, permitindo supor a existência de uma colaboração entre ela e o projecto da SECUR-RIA.

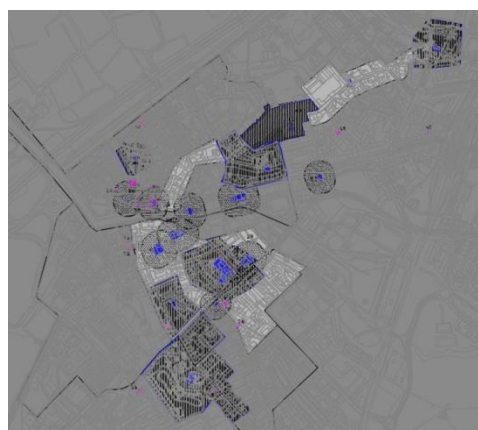


**Figura 6.7 - Zona Inundável definida pela Câmara Municipal de Aveiro**

Os mapas fornecidos pela Câmara Municipal de Aveiro mostram os vários elementos do património arqueológico e edificado que estão referenciados, e que devido ao seu cariz específico e de interesse público, a sua preservação obtém uma importância acrescida, o que se traduz num risco mais elevado. A Figura 6.8 mostra, em cada mapa, aquela que é considerada a zona baixa da cidade, e que apresenta uma elevada densidade de bens patrimoniais.



a) Património Arqueológico



b) Património Edificado

**Figura 6.8 - Património Arqueológico e Edificado**

## Capítulo 7 - Considerações Finais

Este trabalho debruçou-se sobre os fenómenos de cheia na cidade de Aveiro e a forma de avaliar a vulnerabilidade e o risco das várias zonas que nela se inserem.

### 7.1 Conclusões

No primeiro capítulo foi feita a introdução ao tema, tendo como ponto de partida a referência à Directiva 2007/60/CE de 27 de Outubro que obrigou os Estados-Membros da União Europeia a elaborar e apresentar cartas de zonas inundáveis e de riscos de inundação até 2013, de forma a ser implementada a gestão deste tipo de fenómenos que minimize as consequências da sua ocorrência.

No segundo capítulo foi realizado o levantamento de métodos de avaliação da vulnerabilidade e risco de cheias urbanas, tendo-se identificado 5 métodos: a um nível internacional (APFM, 2008; Nasiri e Shahmohammadi-Kalalagah, 2013 e Ouma e Tateishi, 2014), nacional (ANR, 2013) ou especificamente localizado em Aveiro (ADAPTARia, 2013). Através deles procurou-se encontrar quais os factores mais relevantes para avaliação da vulnerabilidade e risco, chegando-se à conclusão que os factores mais transversais a todos os parâmetros são a ocupação do solo, a densidade populacional, a precipitação e os caudais de ponta. Estes parâmetros ganham assim uma importância acrescida na avaliação dos fenómenos de cheias urbanas.

No terceiro capítulo foi elaborado um registo histórico das cheias mais relevantes que ocorreram na cidade de Aveiro, tentando-se contextualizar a sua origem (Ria de Aveiro, marés, pluvial). Foram encontradas várias cheias significativas ocorridas no século XX, e foi perceptível que a instalação das comportas em 1985 permitiu um controlo mais elevado na gestão destes fenómenos, tendo o número de eventos reduzido após a instauração de tal medida. Foi contudo difícil determinar de forma concreta e fiável a origem das cheias causadas, atribuindo-se, quase por defeito/norma, o maior impacto e agente causador à Ria de Aveiro, em combinação com a precipitação, dada a proximidade das zonas inundadas com a Ria.

O capítulo quatro apresenta a caracterização pluviométrica da região de Aveiro, tendo por base três postos udométricos (Gafanha, Albergaria-a-Velha, Oliveira do Bairro). Foi

constatado, ao comparar as datas dos valores de precipitação registados pelos três postos com a lista cronológica de eventos efectuada no capítulo 2, que de facto havia em geral uma correspondência temporal entre elas.

No capítulo 5 foi feita a caracterização hidrográfica de duas bacias definidas no sentido de representar a região urbana de Aveiro, tendo sido estimados os caudais presentes nessas duas bacias, através da avaliação de várias das suas características: geométricas, do sistema de drenagem, do relevo, geológicas e de ocupação e uso do solo. Essa caracterização permitiu depois calcular, utilizando vários métodos, o tempo de concentração das bacias e posteriormente o caudal.

O capítulo 6 apresenta os mapas das zonas inundáveis que existem actualmente e quais os critérios utilizados na sua criação pelas várias entidades. Percebeu-se assim que a zona baixa da cidade é uma área mais vulnerável, não só pela sua proximidade à Ria de Aveiro e baixa topografia, mas também devido à elevada concentração de pessoas e infra-estruturas e bens públicos, como o património cultural que nesta região se encontra.

## **7.2 Desenvolvimentos futuros**

Depois de desenvolvido este trabalho de recolha de metodologias de avaliação da vulnerabilidade e risco, bem como de mapeamento das zonas inundáveis, o próximo passo seria elaborar uma metodologia própria, focando-se nos fatores mais relevantes encontrados, produzindo assim uma carta própria, quer para as zonas inundáveis, quer para as várias classes de vulnerabilidade e risco. O passo seguinte seria intervir e implementar medidas nas zonas de maior risco, de forma a solucionar os problemas encontrados e a melhorar a gestão e controlo da ocorrência de fenómenos de cheia.

Num futuro trabalho a influência das alterações climáticas e as mudanças que elas provocam também terá de ser analisada com mais detalhe. É um processo contínuo de constante actualização numa das grandes problemáticas do Século XXI.

Para o futuro, é também importante analisar o sistema de drenagem, dado que se percebe estar subdimensionado em várias zonas, que tendem a inundar nos momentos de precipitação intensa sem grande fluidez de escoamento. A avaliação dos resultados desta análise permitirá assim definir quais as zonas a intervir e quais as melhores soluções

adoptar. A zona das vias de acesso ao hospital e à universidade é um exemplo de um local crítico no que diz respeito a inundações causadas por precipitação intensa, e cuja situação revela necessidade de intervenção.



**Figura 7.1 - Cruzamento na Avenida da Universidade que dá acesso ao Hospital e a Universidade**



## **Referências bibliográficas**

- ANPC/DNPE, 2009.** Guia para a caracterização de risco no âmbito da elaboração de emergência de protecção civil. Cadernos Técnicos PROCIV # 9. Autoridade Nacional de Protecção Civil/Direcção Nacional de Planeamento de Emergência, 27 pp., ISBN: 978-989-96121-6-7.
- ANR, 2014.** Avaliação Nacional de Risco. 222 p.
- APFM, 2008.** Urban Flood Risk Management - A Tool For Integrated Flood Management. Associated Programme on Flood Management.
- ARHC, 2011.** Critérios para a demarcação física do leito e da margem das águas de transição em sistemas lagunares, estuários e lagoas costeiras do litoral centro. Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P. 58 pp.
- Aveiro E O Seu Distrito, jornal; 1966.**
- Balica SF. 2012.** Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment, Delft University.
- Balica SF, Wright NG, Meulen SF. 2012.** A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. Nat Hazards: 73-105.
- Barroca, B.; Bernardara, P., Mouchel, J.M., Hubert, G., 2006.** Indicators for identification of urban flooding vulnerability. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6m 553-561.
- Borrego, C.; Luís, A. & Margalha, J. 1994.** Estudo da vulnerabilidade da capacidade de recepção das águas e zonas costeiras em Portugal - Bases para um estatuto de protecção da Ria de Aveiro. 9-55. IDAD - Instituto de Ambiente e Desenvolvimento.
- Caetano, M., Nunes, V., Nunes, A. 2009.** CORINE Land Cover 2006 for continental Portugal, Relatório Técnico, Instituto Geográfico Português.
- Correio do Vouga, jornal; 1985.**

**Democrata, jornal; 1914.** Número 349 - 18 Dezembro de 1914. "O temporal".

**Democrata, jornal; 1915.** Número 352 - 8 Janeiro de 1915. "Invernias".

**Dias, J.M.; Lopes, J.F.; Dekeyser, I.; 1999.** Hydrological characterisations of Ria de Aveiro, Portugal, in early summer. *Oceanologica Acta*. ISSN 0399-1784. Vol. 22, nº5 (1999), p. 473-485.

**Dias, J.M.; Lopes, J.F.; Dekeyser, I., 2000.** Tidal Propagation in Ria de Aveiro Lagoon, Portugal. *Physics and Chemistry of the Earth*. 4, 25, 369-374.

**Dias, J.M.; Lopes, J.F.; 2006.** Implementation and Assessment of Hydrodynamic, Salt and Heat Transport Models: The Case of Ria de Aveiro Lagoon (Portugal). *Environmental Modelling & Software*. 21, 1-15.

**Dias, J.M. e Alves, F.L. (Eds), 2013.** Risco de Cheias e Estratégias de Adaptação para a Zona Costeira e Lagunar da Ria de Aveiro. Universidade de Aveiro, CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar. Aveiro. 52 pp.

**Dias, J.M., 2009.** Hidro/morfologia da Ria de Aveiro: alterações de origem antropogénica e natural. *Periódico do CIEDA e do CIEJD*, N.1 Junho/Dezembro 2009 - Semestral. ISSN 1647-6336.

**DGRAH, 1981.** Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, 1981.

**Estrela, T.; Menéndez, M.; Dimas, M.; Marcuello, C.; Rees, G.; Cole, G.; Weber, K.; Grath, J.; Leonard, J.; Ovesen, N.B.; Fehér, J.; Vituki, C.; Lack, T.; Thyssen, N., 2001.** Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events; floods and droughts. *Environmental Issues* Nº21. European Environment Agency, Copenhagen.

**Ferreira, M.T.; Brito, A.G. 2009.** "Capítulo 10 - Águas Interiores Superficiais". 40 pp.



**FFMS.** População Residente: total e por grupos etários. PORDATA. Disponível em <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+total+e+por+grandes+grupos+et%C3%A1rios-390>

**Lencastre, A.; Franco; F. M. (2010).** “Lições de Hidrologia”. Caparica: Fundação da Faculdade de Ciência e Tecnologias [da] Universidade Nova de Lisboa, cop. 2010. 451 pp.

**Litoral, jornal; 1993.**

**Ouma, Y.O.; Tateishi, R., 2014.** Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. Water. ISSN 2073-4441. 31 pp.

**Nasiri, H.; Shahmohammadi-Kalalagh, S., 2013.** Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area - Journal of Novel Applied Sciences. ISSN 2322-5149. 4 pp.

**PMA, 2006.** Plano Municipal da Água. Universidade de Aveiro - Departamento de Ambiente e Ordenamento. 290 pp.

**Ramos, C., 2009.** Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa, 96 p. ISBN: 978-972-636-195-4

**Ria de Aveiro (site).** Ria de Aveiro - Site Oficial do Destino Turístico. <http://riadeaveiro.pt/ria/ria-de-aveiro/>

**Rocha, J., 1998.** O risco de inundações e a sua gestão. Uma visão nacional e uma visão europeia. 4º Congresso da Água - A água como recurso estruturante do desenvolvimento. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.

**Rota da Bairrada (2018).** [http://www.rotadabairrada.pt/irt/show/canal-das-piramides-da-ria-de-aveiro\\_pt\\_1541](http://www.rotadabairrada.pt/irt/show/canal-das-piramides-da-ria-de-aveiro_pt_1541)

**SNIRH (2018).** Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <https://snirh.apambiente.pt/>

**UNISDR., 2009.** UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy For Disaster Reduction, 13 pp.

**Vicente, C.M., 1985.** Caracterização hidráulica e aluvionar da Ria de Aveio - Utilização de modelos hidráulicos no estudo de problemas; Jornadas da Ria de Aveiro. Volume III. 41-58. Câmara Municipal de Aveiro.